

921 集集大地震(台湾地震)視察記

1999.12

(株)第一コンサルタンツ

右城 猛

目 次

1. まえがき	1
2. 団員構成	1
3. 台湾の概要	1
4. 921 集集大地震	2
5. 視察地	3
6. 被災状況	3
(1) 卑豊橋	3
(2) 石岡堰配水管	4
(3) 豊原市東方郊外の断層隆起	4
(4) 石岡堰	4
(5) 長庚大橋	5
(6) 長庚大橋近くの道路擁壁	6
(7) 東勢鎮石城の擁壁	6
(8) 石圍橋	7
(9) 東豊大橋	7
(10) 東勢の街	8
(11) 九分二山	9
(12) 霧嶺林家花園	10
(13) 霧峰郷	10
(14) 草屯鎮	15
(15) 日月潭	15
(16) 集集	16
(17) 中寮	17
(18) 成平橋	17
(19) 竹山の市街部	18
(20) 桶頭橋	19
(21) 草嶺	19
7. 集集地震の感想	23
8. 檳榔について	24
9. あとがき	24

1. まえがき

1999年9月21日午前1時47分(日本時間午前2時47分),内陸地震としては今世紀最大のM7.6の大地震が台湾で発生した。震源に近い南投県や台中県などの台湾中部を中心に多数の死者を出した。土木構造物や建築物,ライフラインも甚大な被害を受けた。

30年から70年後には,南海地震の発生が予想されている。高知県の地震防災対策を考える上で,台湾地震から学ぶべきところが多々あると思われる。

筆者は,土木学会四国支部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の共同の「台湾地震四国調査団」(団長:八木則男愛媛大学教授)の一員として,1999年11月19日から23日にかけて台湾地震(921集集大地震)の被害状況を視察してきた。

2. 団員構成

団員は,下記の11名である。A,B,Cの3班に分かれて視察した。

[A班]

森伸一郎 愛媛大学工学部助教授(班長)
山下祐一 荒谷建設コンサルタント(株)
浄内 明 四国電力(株)建設部構造設計課
俵 司 愛媛大学工学部学生

[B班]

八木則男 愛媛大学工学部教授(団長,班長)
高橋治郎 愛媛大学教育学部教授
須賀幸一 芙蓉調査設計(株)
神野邦彦 (株)愛媛建設コンサルタント

[C班]

右城 猛 (株)第一コンサルタンツ(班長)
栃尾大典 飛島建設(株)四国支店
斉藤章彦 四国総合技術研究所



写真1 調査団とガイド,運転手
(草嶺の地すべり現場にて)

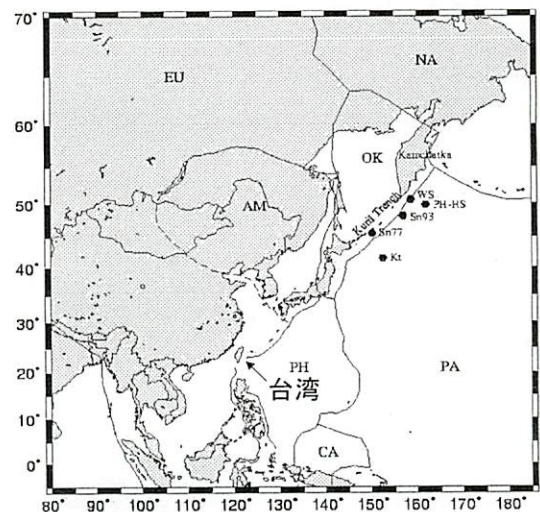


図1 台湾位置図

3. 台湾の概要

台湾は,沖縄半島の南西約600kmに位置し,関西国際空港からジェット機で3時間の距離にある。行政区は,台湾省が管轄する台北市,基隆市,新竹市,台中市,嘉義市,高雄市台南市の7つの市と,台北県,新竹県,台中県,南投県など18県より構成されている。

サツマイモの形をした島の面積は36,000km²。九州とほぼ同じである。人口は約2,200万人,人口密度は日本の約2倍の320人/km²。産業は

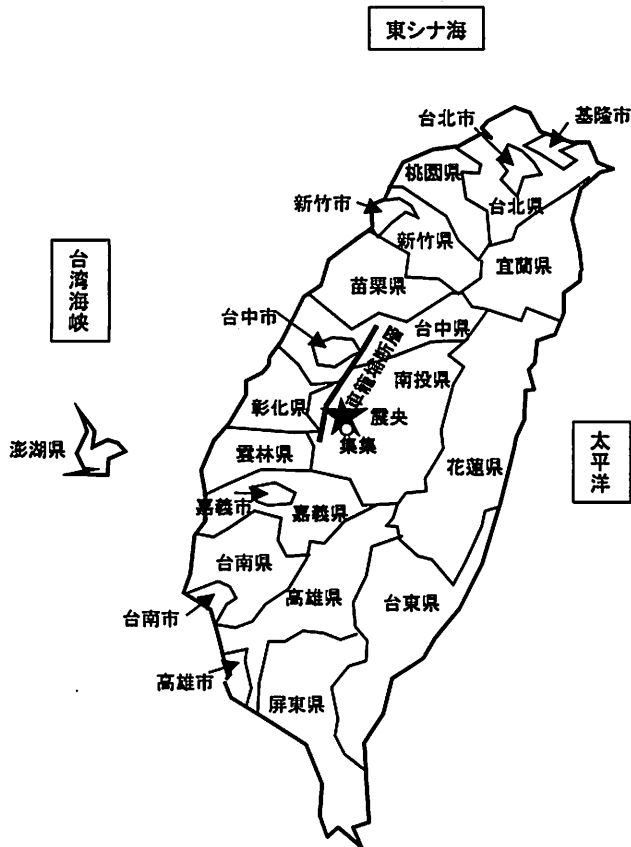


図 2 台湾省

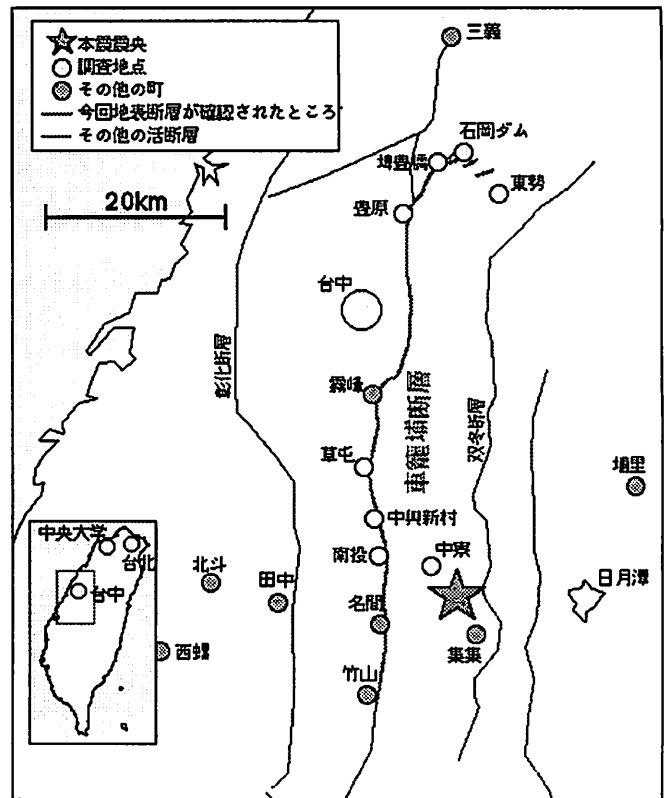


図 3 921 集集地震の震央と車籠埔断層
(京都大学防災研究所ホームページより)

バナナ、サトウキビ、ウーロン茶および米の三期作等の農業がよく知られている。

最近では、台湾のシリコンバレーと呼ばれる新竹市の新竹科学工業園区を中心にコンピュータ関連などの先端技術産業が急速に発展している。

4. 921 集集大地震

1999年9月21日午前1時47分(日本時間午前2時47分)、台湾でM7.6の大地震が発生した。震央が南投県集集镇付近であったことから、「921 集集大地震」と命名された。集集は中国語でチー・チーchi-chi、台湾語ではジジji-jiと発音するようである。

この地震で、南投県竹山から台中県豊原にかけて、長さ80kmの縦ずれ成分に富んだ地表地震断層が出現した。断層の走向はほぼ南北で、東側が西側に対して0.5m~7mほど隆起した。そこは既知の活断層車籠埔(シャーロンプー)

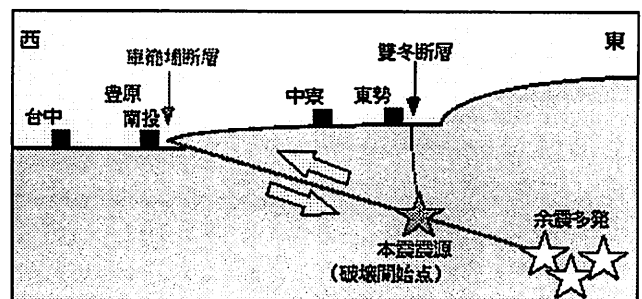


図 4 段差出現のメカニズム
(京都大学防災研究所ホームページより)

断層にあたる。台中県豊原市の大甲溪では、川底に約6mの段差が生じ滝をつくった。

台中県霧峰では、垂直変位2~3mの断層が陸上競技場を横切った。概して変位量は断層の北側ほど大きい。地震断層の10km東方には平行して既知の雙冬断層があるが、地表のずれは明瞭でないようである。

台湾の東海岸付近では、台湾をのせたユーラシアプレートに、フィリピン海プレートが南東から衝突している。そのため、台湾の内陸部は

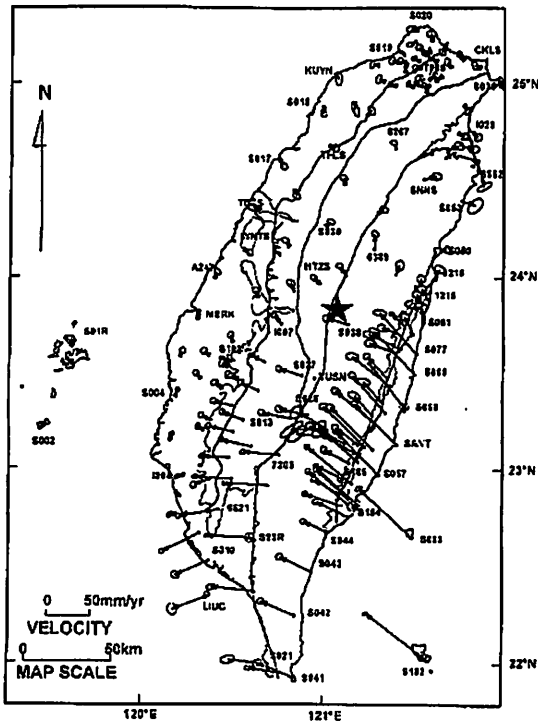


図2：GPSから求めた台湾の変位速度。S01Rを固定（図1と異なることに注意）
★は福略の震央（Yu et al., [Tectonophys., 274, 41-59,1997]に加筆）

図5 GPSから求められた台湾の変位速度
(京都大学防災研究所ホームページより)

圧縮力を常に受けており、そのひずみによって生じた複数の衝上断層が付加体内に発達している。今回の地震では、西寄りの活断層が動いた。

車籠埔断層が過去に動いたという記録はなかった。南部で繰り返し地震が発生しており、そこでの地震が予測されていた。

台湾では日本の旧8階級震度階から震度7を除いた7階級震度階が使われている。台湾中央気象局の調べによると、台湾各地の震度は、名間・台中で震度6、嘉義・台南・新竹・宜蘭で震度5、台北・高雄で震度4である。日本の沖縄県西表島と与那国島でも震度2が観測された。

地面の揺れを示す加速度は、震央の西10kmの南投県名間で983ガルを記録した。これは、阪神淡路大震災の時に神戸海洋気象台で観測された818ガルを上回っている。最大速度は73cm/s（いずれも東西成分）であった。

地震による被害は震源に近い南投県や台中県などの台湾中部に集中した。震央から約150km離れた台北市でもホテルなどが倒壊した。1999年10月11日時点で、死者2,329人、行方不明者84人、負傷者8722人、全半壊12,989棟などの被害が発表されている。

5. 視察地

視察は、被害が甚大であった台中県と南投県を中心にA,B,Cの3班に分かれて行った。C班の視察地を表1に示す。なお、19日と20日および22日の草嶺は、A,B,C各班合同で視察を行った。

表1 C班の視察地

月日	視察地	
11/19 (金)	台中県豊原市 台中県石岡郷	卑豊橋 石岡ダム配水管, 石岡ダム左岸
11/20 (土)	台中県豊原市 台中県石岡郷 台中県東勢鎮, 和平郷 南投県国姓郷	豊原市東方郊外の断層隆起 長庚大橋, 石岡ダム右岸, 石岡橋 東豊大橋, 東勢, 8号線(馬鞍寮, 天冷, 和平) 国姓糯米橋, 九分二山
11/21 (日)	台中県霧峰郷 霧峰 台中県草屯鎮 南投県魚池郷 南投県集集郷 集集 南投県中寮郷 中寮	霧峰林家花園, 慈明商工, 省議会, 高爾夫球場 霧峰街運動公園, 光復國中校舍, 乾溪 炎峰橋, 平林橋, 九九峯 日月潭 集集駅, 武昌宮 中寮国民小学, 中寮郷公所, 中寮変電所
11/22 (月)	雲林県古坑郷 南投県竹山鎮	草嶺, 草嶺隧道 瑞草橋, 竹山市街, 成平橋

6. 被災状況

(1) 卑豊橋

卑豊橋は、橋長380mの10径間単純支持方式PCポストテンションT桁橋で、豊原市と東勢鎮境を東西に流れる大甲溪に架設されている。

左岸(豊原市側)からの2つ目の橋脚が橋軸方

向に倒壊し、3 径間が落橋した。

橋梁の約 30m 上流では、断層により河床の上流(東側)が隆起し、落差約 6m の滝が出現した。

(2)石岡堰配水管

石岡堰と豊原給水池を結ぶ埋設鋼製管渠が、断層の移動で鉛直および水平方向に大きく変位し、破断した。写真 3 は修復後の管渠である。

(3)豊原市東方郊外の断層隆起

地盤が約 100m の幅にわたり、6.9m 隆起した。写真の手前(南側)が元の地盤面。鉄筋コンクリート構造の民家が建っている奥(北側)の地盤が隆起したが、民家には被害がなかった。民家のすぐ奥(北側)に、東西方向に長い平屋の物置小屋がある。ここは地盤の変動でかなりの被害を受けていた。

(4)石岡堰

石岡堰は、大甲溪に 1994 年 5 月に施工された貯水量 270 万 m^3 を有するダムである。卑豊橋の約 1km 上流に位置する。堰堤は重力式コンクリート造で堤長 357m である。堰頂の標高は、越流部が 259.5m、非越流部が 272.2m である。堰頂には、兩岸を連絡する 2 車線の橋梁が架設されている。



写真3 断層の移動で鉛直および水平方向に大きく変位し、破断された石岡堰配水管



写真 4 豊原市東方の郊外での断層の隆起



写真2 卑豊橋(豊原)の上流(東側)が 6m 隆起し河川に滝ができた

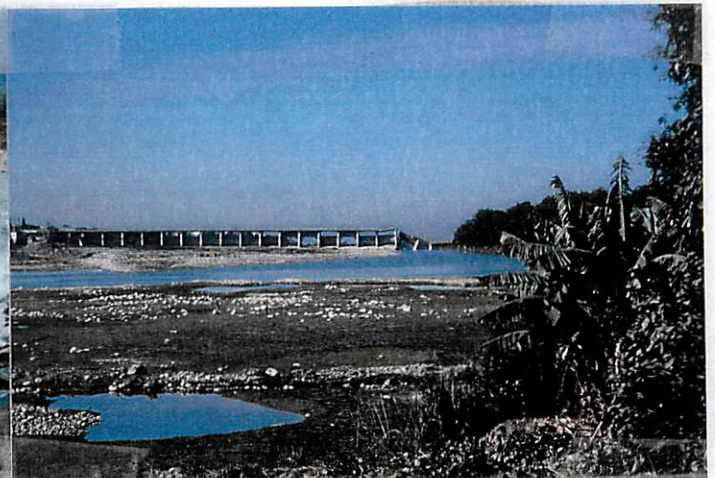


写真 5 上流から眺めた石岡堰
右岸側で堰堤に約 7m の段差を生じている。

石岡堰は、右岸側が大きく陥没したように見える。実際には右岸側(北側)が 2m 隆起し堰堤(南側)が 9m 隆起したため、7m の段差を生じたとのこと。このことは、大甲溪に沿って右岸側を走る道路の東側が石岡堰付近で 2m 程隆起し段差を生じていることから明らかである。

堰堤の右岸に古い 2 階建ての鉄骨構造の展望台兼ねたビアガーデン跡があるが、被害を生じていない。

堰堤の左岸には、ダム管理事務所があり、少し被害を受けていた。ここは、風光明媚であることから、公園内に展望台や休憩所が設けられている。鉄筋コンクリート製のキノコ形をしたパーゴラの支柱が、根元付近でコンクリートが剥落し、鉄筋が露出していた。

各地の震災現場で、観光客の姿が見られたが、石岡堰も多くの観光客を呼び寄せたようである。

(5)長庚大橋

長庚大橋は、石岡堰の約 1km 上流に位置する。1987 年 7 月に架設された橋長 440m、13 径間単純支持方式の PC ポストテンション T 桁橋である。左岸側の橋脚(張り出し梁式オープンケーソン基礎)が橋軸方向に変位し、左岸側の 2 径間が落橋していた。下流側には仮橋が施工され、暫定供用されていた。

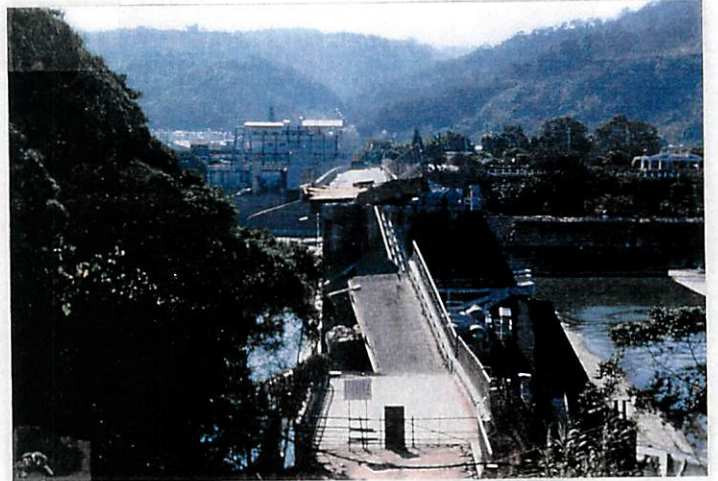


写真 7 右岸のビアガーデン跡から眺めた石岡堰

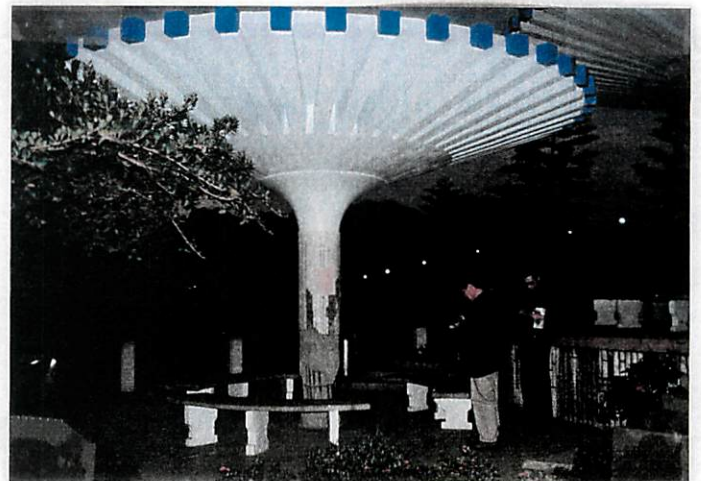


写真 8 公園内のパーゴラの支柱の破損

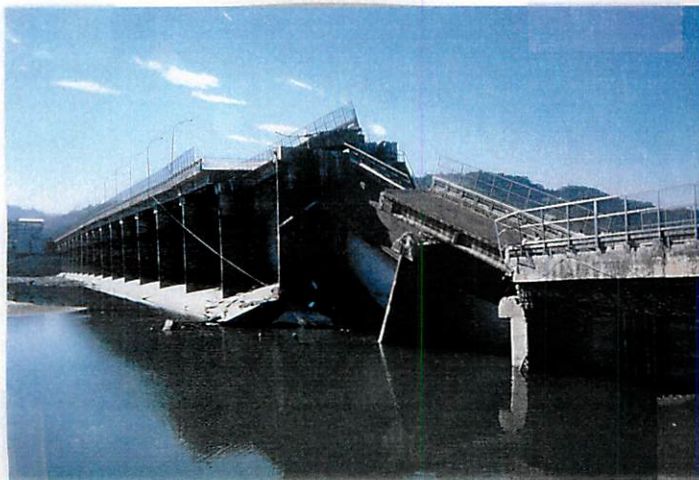


写真 6 石岡堰右岸側の破損状況

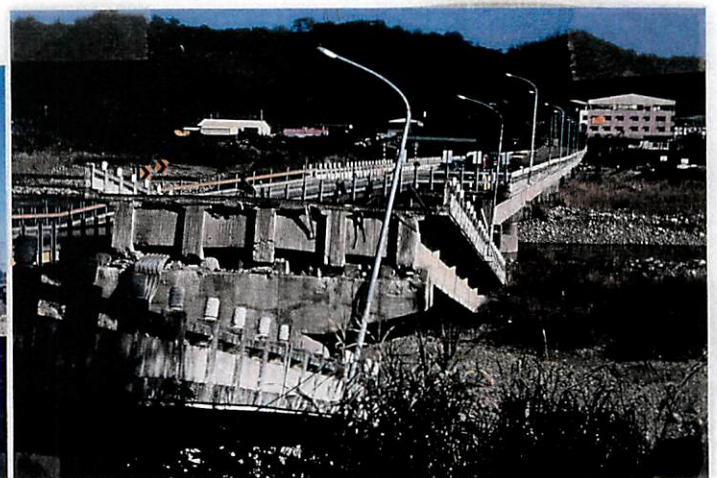


写真 9 左岸側の 2 径間が落橋した長庚大橋

(6)長庚大橋近くの道路擁壁

3号線から分岐し、長庚大橋に降りていく道路の路側部に造られた片持ち梁式擁壁は、前方へ起きあがり大きくせり出している。倒壊したブロックも見られる。

擁壁の上部には、コンクリート製の剛性防護柵が設けられている。これが、道路縦断方向（東西方向）へ1.5m程度変位していた。

(7)東勢鎮石城の擁壁

長庚大橋から東勢鎮石城の石圍橋へ向かう途中、コンクリートもたれ式擁壁の被災が見られた（写真14～写真15）。

もたれ式擁壁をわが国の技術基準に基づいて設計すれば、滑動の破壊モードが卓越する。ところが、擁壁の破壊は、写真14～写真15に見られるように転倒モードまたは転倒と滑動モードである。

大きな慣性力の影響で擁壁が前方へ回転変位し、裏込盛土との間に大きな溝が形成されている。このような現象は、震度法による物部・岡部の土圧理論を適用したわが国の技術基準では説明することができない。

このような擁壁の破壊形態は、草嶺でも多数散見された。



写真 11 前方に迫り出した片持ばり式擁壁



写真 12 片持ばり式擁壁の上部の剛性防護柵

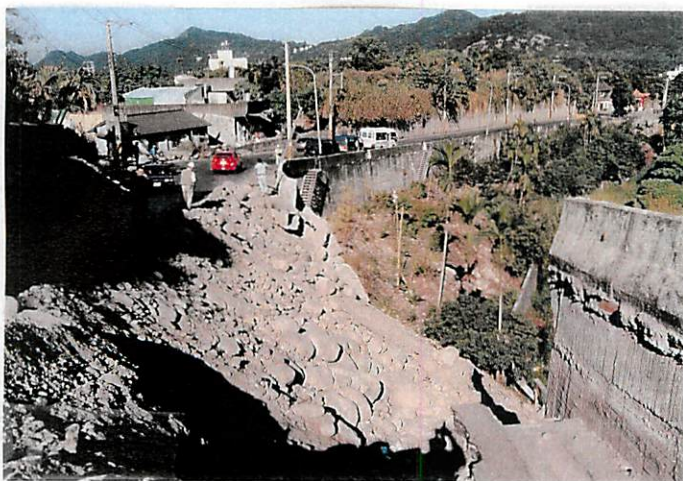


写真 10 石岡郷石岡の擁壁の倒壊

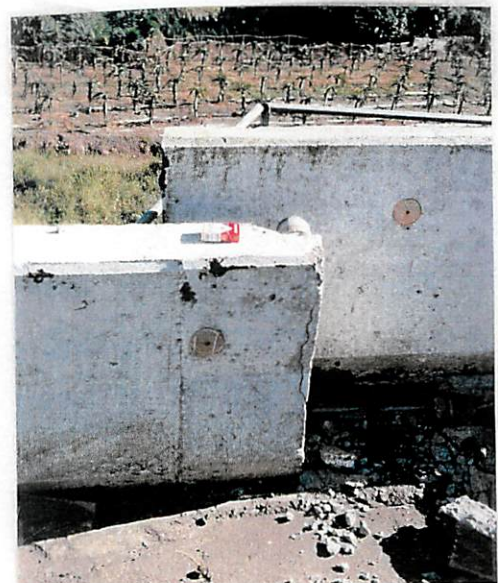


写真 13 東西方向にずれた剛性防護柵



写真 14 東勢鎮石城のもたれ式擁壁の被災



写真 16 石圍橋



写真 15 東勢鎮石城のもたれ式擁壁の被災



写真 17 石圍橋

(8)石圍橋

石圍橋は、東勢鎮石城で大甲溪の支川樵沙溪を3号線が横断する地点に位置する。1994年(民国83年)9月に架けられた5主桁のポストテンション方式PC単純T桁橋である。

橋脚が橋軸方向に大きく回転変位し、上部構造が落橋していた。

兵庫県南部地震の場合、落橋の原因のほとんどは、橋脚の柱の曲げあるいはせん断破壊か、支承の破壊によるものであった。

卑豊橋でも橋脚の倒壊による落橋が見られている。いずれも直接基礎である。基礎の耐震設計法あるいは設計に用いた震度に問題があったとも考えられる。

(9)東豊大橋

東豊大橋は、長庚大橋の約5km上流で3号線が大甲溪を横断する地点に架設されている。左岸側が石岡郷、右岸側が東勢鎮である。

橋梁形式は単純支持のPCポストテンションT桁橋である。元々2車線道路であった橋梁を上下流にそれぞれ拡幅している。

被害は上流側の拡幅橋梁(4主桁)に見られた。橋脚が1本だけ根巻き補強されている。破損が比較的大きかったものと推測される。

上流側の拡幅橋梁の被害は、下流部の外桁および下流部外桁と中桁を結合する端横桁に見られる。橋軸直角方向に大きな水平力が作用し、主桁端部にねじりモーメントが発生したものと考えられる。

橋脚の柱の上流面には鋼板が貼られている。
洪水時の転石の衝突に対する補強と思われる。

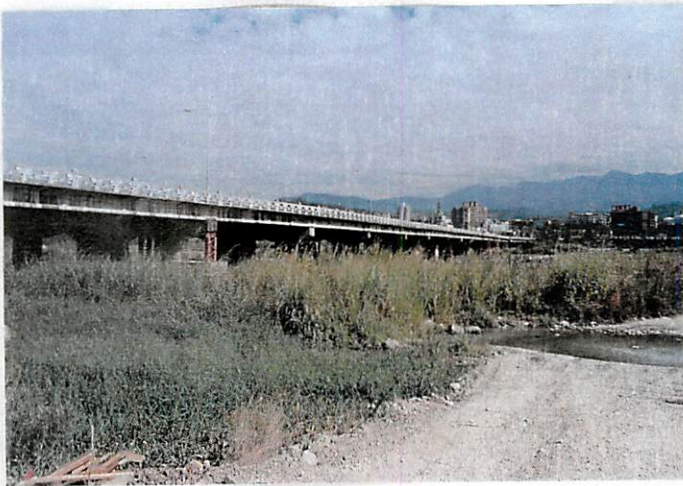


写真 18 東豊大橋の上流側；柱が根巻きされ、梁が支保工で支持された橋脚が見られる



写真 21 上流拡幅橋の下流側外桁の端部及び端横桁がせん断破壊している



写真 19 上部工全体的に 10cm 程上流(写真の左)側に移動している。



写真 22 下流側の拡幅橋梁の梁端部が上流方向へせん断破壊している。



写真 20 上流側へ大きな水平力が作用し、上流拡幅橋の下流側外桁の端部が破損している

(10)東勢の街

大甲溪の右岸側に位置する東勢は、200年から300年の歴史を持つ街である。1990年以降に近代化が進められ沢山の高層ビルが建築された。それが今回の地震で一瞬のうちに倒壊した。

死者数は、東勢王朝の倒壊によるものが一番多かったため、マスコミの視点がこのビルに集中したようであるが、被害の多くは100年以上の歴史を持つ伝統建築物であったようである。

東勢の街中を南北に8号線が走っている。その西側では被害が見られず、東側で被害が顕著と感じた。既に取り壊された家屋も多い。6階建の鉄筋コンクリート造のマンションは、1階

の柱が破壊し押し潰されている。台湾の建物は、1階の道路に面した部分がピロティー構造の通路となっている。このマンションも例外に漏れず、ピロティ構造であったことが被害を大きくしたと考えられる。

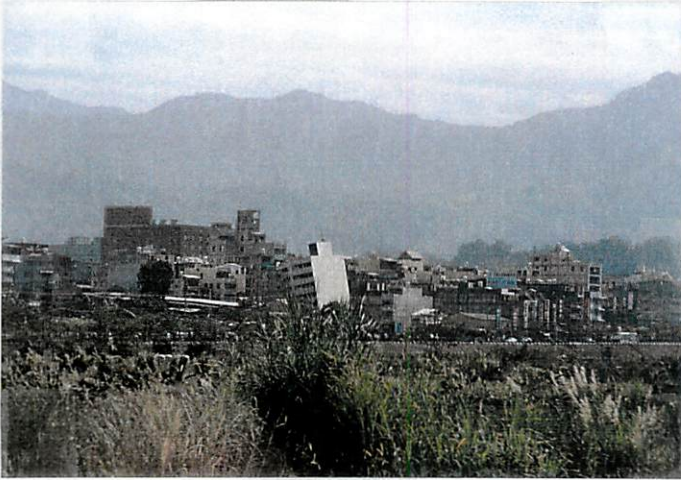


写真 23 石岡郷から見た東勢の街並み



写真 24 1階が押し潰されたマンション



写真 25 マンションの柱の破壊状況

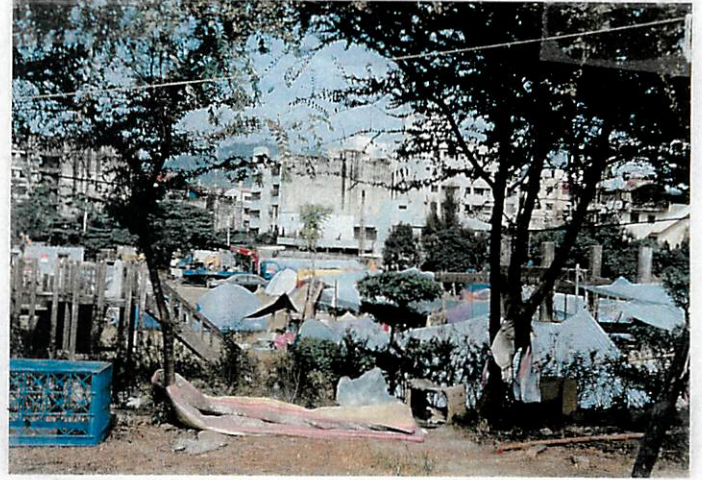


写真 26 東勢の街中に張られた避難民のテント



写真 27 東勢の伝統的建築物の倒壊

(11)九分二山

九分二山は、国姓郷と中寮郷の境に位置する標高 1,174m の山である。自然に恵まれた広大な山林には、美しい川、竹林、茅葺きの家、鹿などが見られる風光明媚な場所として多くの登山者に親しまれている。

今回の地震で、各地に斜面崩壊が発生した。その中で最も規模が大きかったのが、草嶺と九分二山である。ガイド役の孫氏は、地震で山が 4km 走ったと説明していた。現場を見るまではその意味を理解することはできなかった。

九分二山に登るには、国姓郷南港からの登山道がある。登山道の入り口に、役所の方がおり

一般人の入山を阻止していたが、我々調査団は、2台の小さなワゴン車で登ることを条件に入山を許された。

地震で登山道はずたずたになっていたのが、最近ようやく通行可能な状態になったものと思われる。登山道を登ると、正面に九分二山が現れた。山頂部から山裾にかけて模崩壊を生じ、大量の土砂が溪谷を埋め尽くしていた。土砂の移動距離が数キロメートルに及んでいる。孫氏はこのことを山が走ったと表現されていたのであろう。

現場では、数台の建設機械によって埋められた土砂を除去する作業が行われていた。堆積した土砂の上には、数カ所テントが設置されていた。

ここには集落があり、多数の住民が生き埋めになっている。震災後、その家族や親類の者が堆積土砂の上で、ご飯に箸を立て、線香に火を付けて、死者の冥福と遺体の発見を祈っているのだという。

大量の土砂の中から遺体を見つけだすのは不可能と思えた。しかし、遺体を発見しなければ、死亡届が発行できず、政府からの慰謝料がもらえない。また、家屋が見つからなければ、地震による被害を証明できないのである。

土砂が溪谷を埋めたことで、3つの湖が新たに出現した。湖の水位は10cm/dの速度で上昇している。今は乾期であるが、5月から雨期に入り台風もくる。そうすれば、堆積した土砂が土石流となって、3km下流にある南港の集落を襲うことが危惧される。

(12)霧嶺林家花園

霧嶺林家花園は、霧嶺市街地のほぼ中心地に位置している。台湾総督府の家として200年前に作られたもので、史跡として観光名所になっていたが、今回の地震で破壊してしまった。



写真 28 九分二山

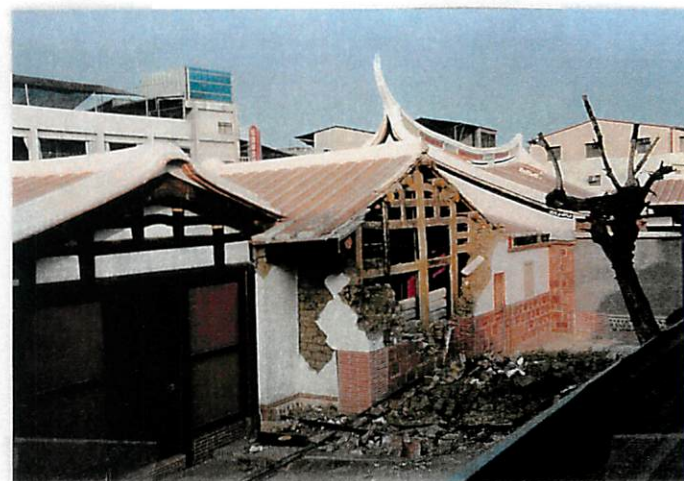


写真 29 霧嶺林家花園

(13)霧峰郷

(1)本堂村

霧嶺市街地南端の本堂村には、慈明商工、図書館、省議会、議員会館などの公共施設が建ち並んでいる。東西に流れる乾溪の支川を挟んで、対岸は高爾夫球場と呼ばれるゴルフ練習場がある。

乾溪支川の右岸側に建てられていた鉄筋コンクリート四階建ての慈明商工は、被害が大きかったため跡形もなく取り除かれていた。

乾溪支川では、左右岸とも護岸工が、明らかに液状化現象と思われる破壊を示していた。隣のゴルフ練習場に入ると、芝生の植えられた敷

地の至る所で液状化による噴砂孔が見られた。地震以降雨が降っていないことと、人が立ち入っていないことで、噴砂孔は全く乱されことなく残されていた。噴砂孔の規模は小さく、直径 10cm 程度である。砂は豊浦標準砂のような細砂である。また、敷地には、河川護岸に平行なクラックが多数見られた。液状化の影響で、地盤が側方流動したものと思われる。

図書館は、杭基礎構造になっているためか、地盤が沈下し 10~15cm ほどの段差を生じていた。周辺にゴルフ練習場と同様の噴砂孔が見られることから、液状化によって地盤が沈下したものと推測される。



写真 31 乾溪支川の護岸の崩壊

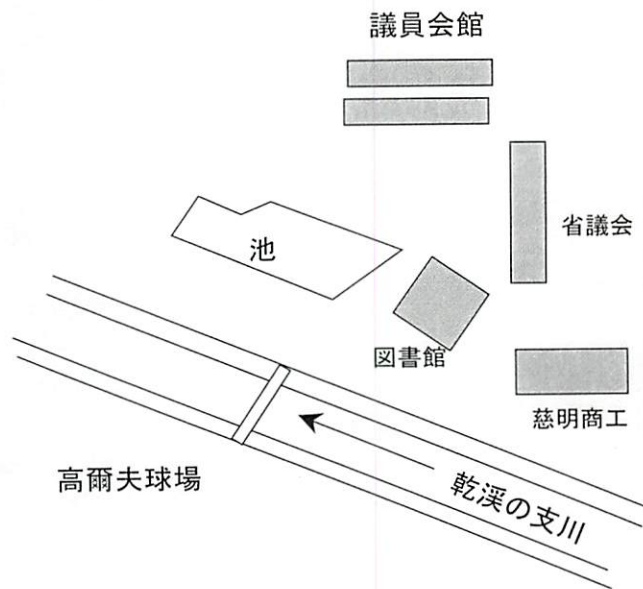


図 6 霧峰郷本堂村



写真 32 ゴルフ練習場の液状化跡



写真 30 図書資料館周辺の地盤沈下



写真 33 ゴルフ練習場の液状化による噴砂孔

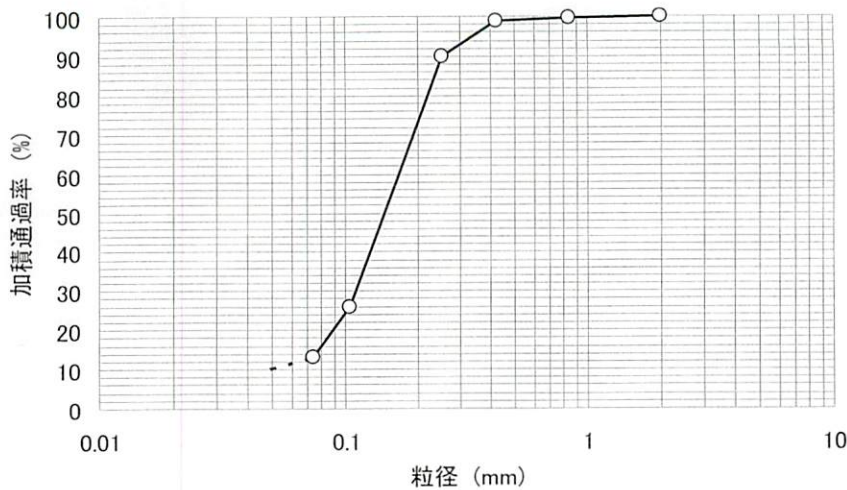


図 7 霧峰高爾夫球場の液状化砂の粒径加積曲線

(2)光復新村

霧峰市街地から約 2km 南の光復新村では、乾溪が東から西に流れている。断層が乾溪を南北方向に横切り、東側(上流側)の地盤が大きく隆起している。堤防は地盤隆起の影響で大きく破壊されている。乾溪の河床部では高爾夫球場で見られたものと同様の液状化による噴砂孔が無数見られた。

断層は、乾溪に隣接する陸上競技場、光復国中学校へと連続して伸びている。東西方向に作られた陸上競技場のトラックを南北方向に断層が走り、東側が約 2m 隆起している。しかし、隆起した地盤上に建っている陸上競技場のスタンドには被害が見られない。

陸上競技場に出現した断層の段差は、「世界奇観」としてマスコミが報じたため、地震研究者のみならず、地震後二週間目の日曜日からは観光客が押し寄せた。「霧峰被災地一日帰り観光」ツアーができたほどである。

我々が視察した日にも、台湾や日本の大学の研究者や学生、あるいは一般の観光客が沢山訪れていた。観光客を相手に飲み物や食べ物売る屋台も出、観光地として賑わっていた。

野島断層のように断層を保存する施設、地震

資料館、土産物店を整備すれば、観光名所の一つになるだろうと思えた。

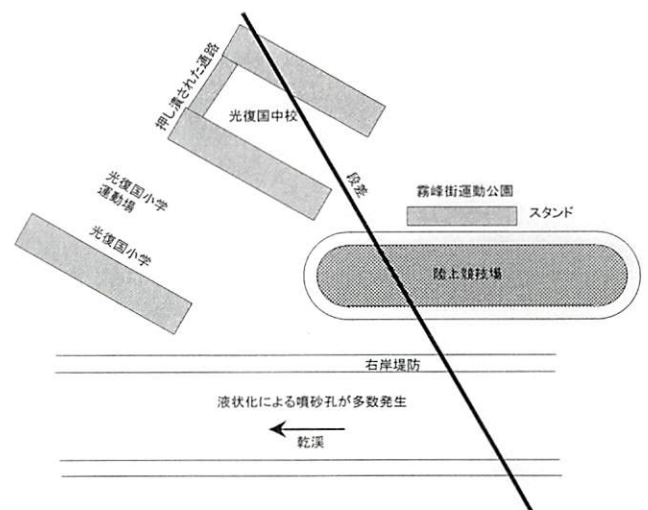


図 8 霧峰街運動公園



写真 34 陸上競技場のトラックの北側の段差

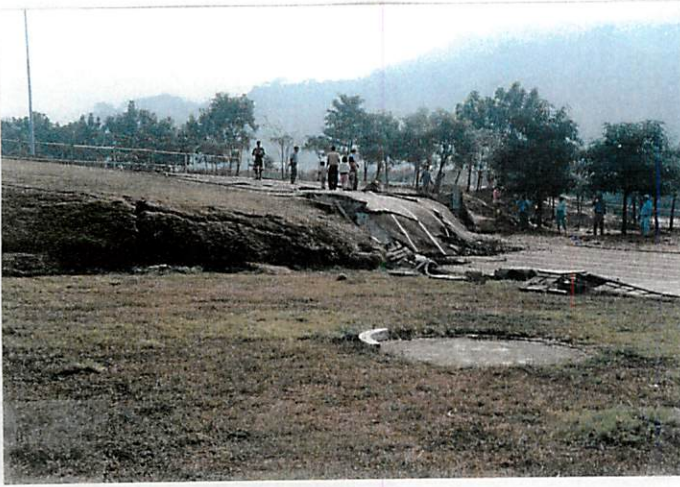


写真 35 陸上競技場の段差が南側に伸びている



写真 38 河床の噴砂孔

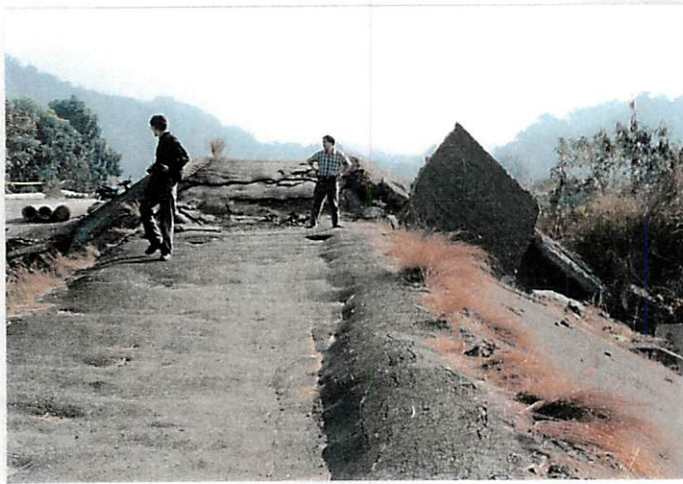


写真 36 乾溪の右岸側の堤防の段差

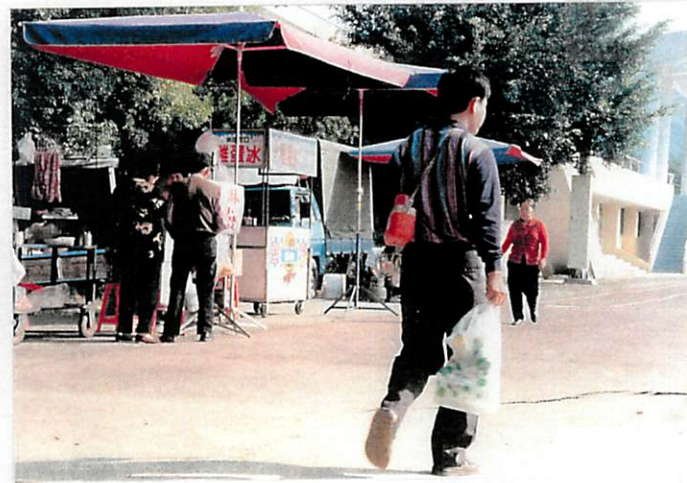


写真 39 陸上競技場に出された屋台



写真 37 乾溪の河床では無数の噴砂孔が見られる

陸上競技場に隣接して西側に光復国中学校と光復国小学校がある。光復国小学校には、ほとんど被害が見られないが、校庭内を断層が通過した光復国中学校は悲惨な状況にある。特に、校舎を断層が横断した北校舎は、まるで爆撃を受けたような破壊状態である。

北校舎と南校舎を結ぶ渡り廊下は、全ての柱が崩壊し、ぺっしょんこになっている。

北校舎、南校舎とも鉄筋構造の柱は、かぶりコンクリートがはがれ落ちている。鉄筋で囲まれた内部のコンクリートは、ブロック状に破碎され、その一部が鉄筋の隙間から落下している。

帯筋が切断された箇所では、ブロック化したコンクリートが全て落下し、残された主鉄筋が大きく座屈変形している。



写真 40 光復国中学校の校庭内の断層



写真 43 光復国中学校北館の柱の破壊



写真 41 倒壊した光復国中学校の北館



写真 44 光復国中学校北館ピロティの柱の破壊



写真 42 光復国中学校北館の破壊状況



写真 45 北館の北側の校庭の段差



写真 46 北館と南館を連絡する通路の崩壊

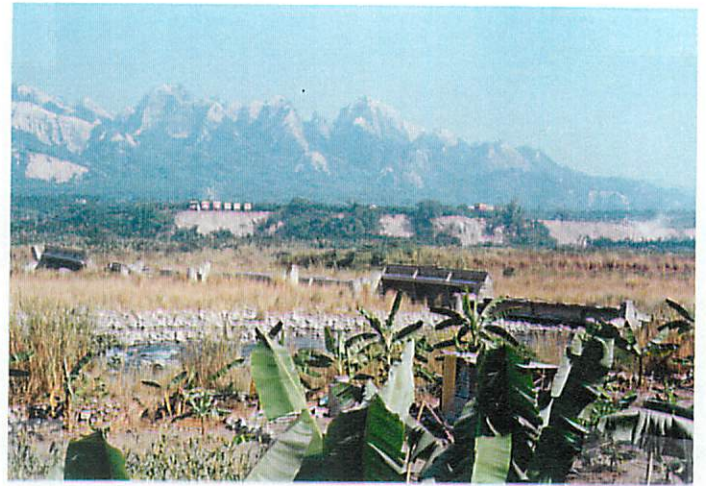


写真 48 平林橋と九九峯



写真 47 南館の教室の状態



写真 49 脚注が折れて倒壊した平林橋

(14) 草屯鎮

烏溪を 14 号線が通過する地点に炎峰橋がある。多径間のポストテンション PC 単純 T 桁橋で、橋軸は北東方向である。この橋の被害は大きくない。橋の中間付近で、東西方向に 50cm 程度ズレを生じていた。

炎峰橋の約 300m 上流に平林橋がある。橋軸は、南北方向である。構造は単純支持のポストテンション PCT 桁橋。円形断面をした橋脚柱が中間付近で折れ、それより上部が東側に倒れている。兵庫県南部地震による深江のピルツ橋の倒壊を思い出させる光景であった。

炎峰橋の奥に見える山は、九九峯（火炎山。標高 526m）。山頂付近が積雪したように見えるのは、表面崩壊で山肌が見えるため。

(15) 日月潭

日月潭は台湾中部屈指の観光名所。台湾の中央にある南投県の中央に位置する約 15km²の大きな湖。湖畔には観光ホテルや土産物店が建っている。

我々が視察したのは、倒壊したホテル跡。写真で調査団が建っている所に 10 階建のホテルが建っていたとのこと。残されている柱は 60cm 角程度と小さく、日本では信じがたい構造である。耐震設計は全くされていなかったであろう。



写真 50 日月潭湖畔の10階建ホテルの柱の跡



写真 52 一階が完全に押し潰された集集の武昌宮

(16)集集

震源地となった集集では、鉄道集集線の集集駅と、その1km東の武昌宮を視察する。

集集駅は、震源地である「集集」の文字が書かれている場所ということで、観光客で賑わっていた。木造造りの駅舎の周囲には、工事用の塀が張り巡らされており内部の被害状況を確認することはできなかった。

武昌宮の破壊は凄まじいの一言に尽きる。円形の断面をした鉄筋コンクリート柱が完全に破壊され、1階部分が押し潰された状態になっている。柱が少なかったこと、柱が支えていた上部構造が重たかったことが、破壊の大きな原因になったと考えられる。



写真 53 武昌宮の柱の破壊状況



写真 51 観光客が記念撮影する集集駅のプラットフォーム



写真 54 武昌宮の柱の破壊状況



写真 55 武昌宮の柱の破壊状況

(17)中寮

中寮は、集集の北西 7km の地点にある。ここも大きな被害を受けた町の一つである。被害の大きかった中寮国民小学，その周辺の建物はすでに撤去され更地になっていた。

中寮郷公所（中寮郷市役所）は，まだ取り壊さずに残っていた。1階が完全に押しつぶされている。

(18)成平橋

成平橋は，竹山市街から北東へ 3.5km 離れた地点で，3号線が濁水溪の支川東埔蚋溪を横断する箇所には架設されている橋梁である。

ここでは，3号線の西側を車籠埔断層が走っており，道路が 3m ほど隆起し，これによって橋梁も一部破壊していた。

ガイド役の黄さんの話では，東埔蚋溪も河床が隆起したとのことであった。成平橋の直ぐ下流で護岸工事が実施されていた。堤防の裏法面，表法面，天端が張りコンクリート構造となっていた。河床が隆起したため，洪水が越流しても堤防が破壊しないようにしているのであろうか。

堤防工事をしている直ぐ横の堤内側の民地で，バックホーを用い，素掘りで深さ 4m ほどの穴が掘られていた。園芸用水を取水するための井戸らしい。地盤は河岸段丘性の玉石混じり

土砂で，締まっているようではあるが，崩壊に対して極めて危険と感じた。

成平橋はの近くでは，玉石を用いた民家の石垣が崩壊していた。



写真 56 1階が押し潰された中寮郷公所



写真 57 隆起した3号線。地震前は，写真右手の家と道路が同じ高さであった。



写真 58 道路の隆起で破損した成平橋

(19)竹山の市街部

竹山市の市街部も悲惨な状況であった。倒壊した建物の多くはすでに撤去され、瓦礫だけになっていたが、中には倒壊したままのビルもあった。その中には、内装と外装のみを残しただけで、完成間近のビルが大きく傾斜しているものもあった。

台湾の建物は、道路に面した1階がピロティ構造になっており、耐震上の弱点になったと考えられる。



写真 59 成平橋下流の護岸工の補修工事



写真 60 堤防の直ぐ横で掘られていた井戸



写真 62倒壊した竹山市街地の建物

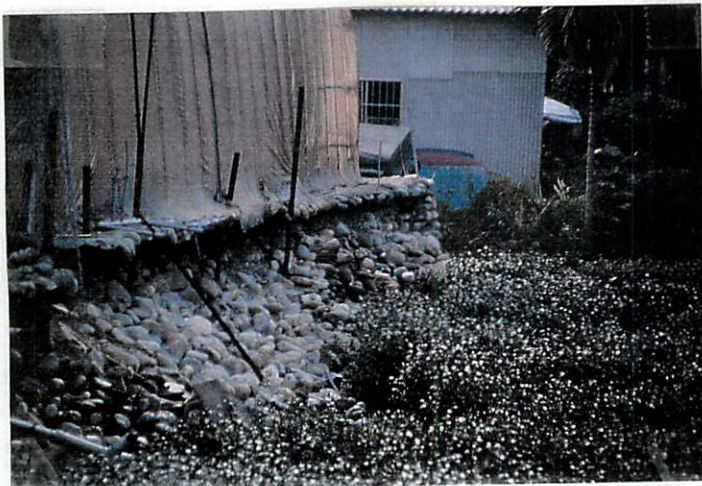


写真 61バラバラに崩れた民家の石垣



写真 63 台湾の標準的な建築様式(竹山の市街地)

(20) 桶頭橋

桶頭は竹山鎮の最南端にあたる。東西と南が山に囲まれ、地形が桶の形をしていることから桶頭と名付けられている。

149号線と平行して南から北に流れる清水溪が葛折れし、西側に向きを変えて149号線と交差する地点に桶頭橋が架設されている。形式は、4径間の単純支持方式PCホストテンションT桁橋である。

南西方向に伸びてきた断層は、桶頭橋を斜めに横断したため、桶頭橋や周辺の堤防を破壊した。橋の周囲の山は崩壊のため地肌がむき出しになっている。

2本の橋脚は完全に破壊され、落橋している。流心部に当たる左岸側の2径間の上部工と橋脚はすでに撤去されているが、右岸側は落橋したままの状態に残されている。

桶頭橋の直ぐ下流では、施工中の護岸工が被災していた。護岸工には、プレキャストコンクリート版が用いられていた。

(21) 草嶺

草嶺は、草嶺十景と呼ばれる景勝地があり、観光の名所、避暑地となっている。このため、山頂付近には、山荘、草嶺観光街がある。観光街にはレストラン、土産物店、遊園地、ホテルなどがある。我々は確認することができなかったが、草嶺大飯店（ホテル）の一階が倒壊したようである。

草嶺に至る149号線は、至る所で斜面崩壊を生じ通行不能になっていたが、最近になって通行規制が解除されていた。といっても、道路面の土砂を撤去しただけの状態であり、斜面上には極めて不安定な岩塊が沢山見られた。地震以降に雨が全く降っていないので斜面は安定を保っているが、少しでも降雨があれば、落石が発生するだろう。

草嶺に登る途中、崩壊斜面の山際でボーリング調査が行われていた。日本であれば、誰も恐



写真 64 倒壊した桶頭橋



写真 65 施工中に被災した護岸工



写真 66 草嶺登山道の擁壁の倒壊

ろしくて調査をしないだろうと思えた。

草嶺観光街に入る手前に延長約 500m の草嶺トンネルがある。トンネルの北側抗口付近には、普段でも度々落石が発生する危険斜面となっている。今回の地震でも斜面崩壊で抗口が塞がれていたようである。

地震による地すべりで最も規模が大きかったのは、草嶺にある標高 1,234m の堀番山であった。南投県と雲林県の県境を南から北に流下する清水溪の上流に位置し、雲林県の東端、阿里山脈の西側に当たる。今回の調査の最南端でもある。

劉還月著「台湾大地震断層現場実録」によれば、「堀番山の半分の 3 億 5 千万 m^3 の土砂が土石流となって 1km 離れた清水溪を堰き止め、草嶺湖を造った。これによって、堀沕、枋仔崙などのいくつかの集落が地下に埋められてしまった。」とある。

また、12 月 16 日朝の NHK ラジオニュースでは、伊藤和正 NHK 解説委員が「草嶺の山の西側斜面が幅 4km、面積 7.2h にわたって崩壊し、1 億 2 千万 m^3 の土砂が清水溪を塞ぎ、新たに草嶺湖をつくった。この土砂の崩壊で 32 人が生き埋めになった。」と説明しておられた。

崩壊の規模はとてつもなく大きく、どれが正しいのか想像もつかない。

草嶺地すべり調査は、我々四国の調査団と台湾中央大学の Wen 先生の一行（東京大学瀧岡先生、大阪土質試験所の岩崎所長、建設省土木研究所動土質研究室の松尾室長など）と合同で行った。

地すべり地の地質は層理の発達した頁岩で、表面に土砂が薄く堆積している。層理面の傾斜は 12~15 度程度の緩い流れ盤である。地すべりは、極めて滑らかで広大な滑り台を思わせる層理面に沿って滑ったものと思われる。

すべり面に露出した頁岩を軽く叩くと、表面が 1cm 角で厚さが 2mm 程度のタイル状に薄く剥離する。また、層理面の中には、岩盤が海岸

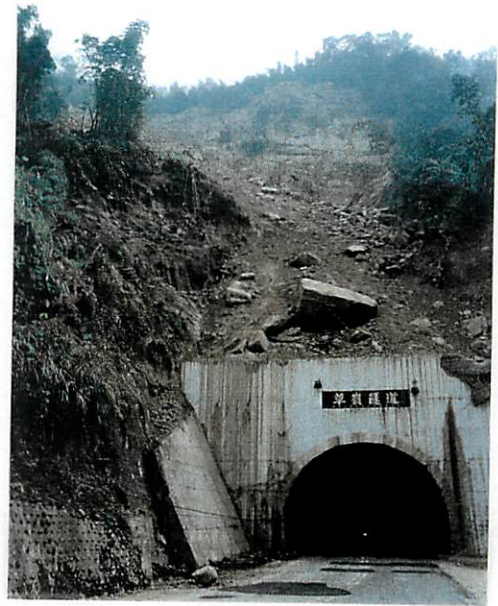


写真 67 草嶺トンネルの北抗口

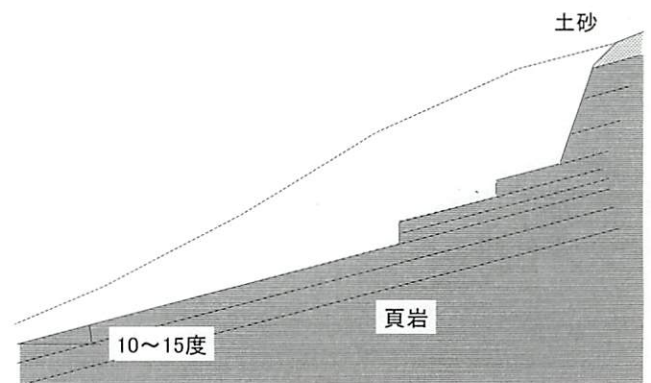


図 9 草嶺の地すべり断面



写真 68 草嶺の地すべり斜面

で堆積したことを示すレンコンが見られる（高橋教授）。

すべり面には、大きな頁岩の転石、崩土も見られる。頁岩の転石は、軽く叩くとすべり面と同様タイル状に薄く剥離する。すべり面上の崩土は、礫混じりのシルトであり、厚さ1~10cm程度である。崩壊する際に多量の水を含み、液状化した土石流のような状態で流下した感じである。シルトが堆積した箇所は、乾燥による収縮クラックが10~30cmの間隔で亀の甲羅状に入っており、まるで稲刈り後の田圃の土のようである。また、シルトの堆積した箇所では、間隙水圧が吹き上げた形跡が認められる。

地すべり土砂の閉塞で形成された湖には、民家の屋根が浮かんでいた。ガイド役の黄さんの

説明では、十数個の民家が湖の下に没しているとのことであった。湖には、観光客を当て込んで塩ビパイプで作られた筏が浮かべられ、湖畔では飲料水などが売られていた。華僑の人は、商魂逞しい。



写真 71 すべり面上の頁岩の転石。叩くと表面がタイル状に剥離する。



写真 69 頁岩のすべり面。叩くと表面がタイル状に薄く剥離する。

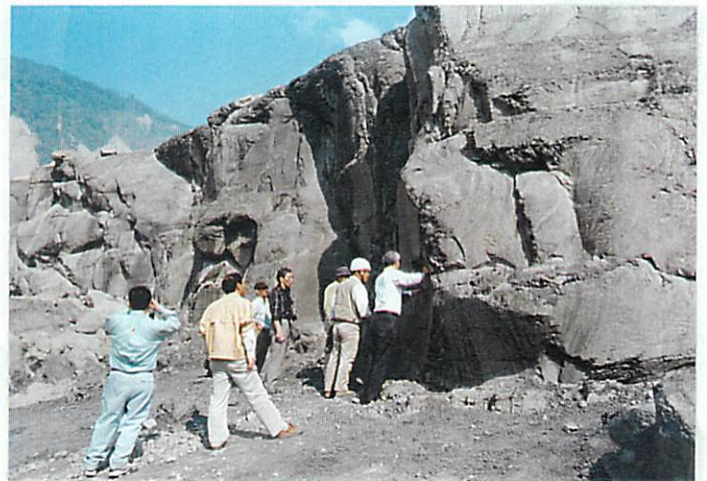


写真 72 すべり面の中腹の層理面が発達した崖。



写真 70 叩いたら表面がタイル状に剥離したすべり面



写真 73 転石にレンコンが見られる。酸化して褐色化



写真 74 すべり面の表面には、水を多量に含んで流下した礫混りシルトが堆積している。



写真 77 清水溪を土砂が閉塞してできた湖



写真 75 シルトの堆積した箇所は、乾燥収縮で亀の甲状の亀裂が見られる。



写真 78 湖に浮かべられた観光用の筏



写真 76 シルトの堆積箇所では間隙水圧による吹き上げ跡が見られる



写真 79 湖畔での飲料水の販売

7. 集集地震の感想

インターネットで京都大学防災研究所と東京大学地震研究所地震予知情報センターのホームページにアクセスし、震災状況に関する予備知識を少し仕入れて台湾へ旅立った。

ところが、南北 80km にわたって地面を引き裂いてできた数メートル規模の地表段差、断層直上の建築物や道路構造物の壊滅的破壊、九分二山や草嶺に見られる大規模地氾りは、想像を遙かに超えるものであった。人間の造る構造物など「砂上の楼閣にすぎない」とさえ思えた。

その一方で、断層から少し離れた建物や構造物は、ほとんどが軽傷か無傷であった。被災は断層に沿って、幅 50m~100m の範囲に集中している。何とも不思議に思えた。

台湾の平地は、河岸段丘によって形成された玉石混じり砂礫層でできている。このことが、被災を断層近傍の狭い範囲にとどめたのかも知れない。

被災した建築物や橋梁の中には、耐震設計上問題があると思えるものもいくつかあった。特に、日月潭で見たホテルや集集の武昌宮は明らかに柱断面が小さすぎる。日本では考えられない構造である。

霧峰の光復中学校についても柱の帯鉄筋が少ない。断層が横断した北校舎は別にしても南校舎については、帯鉄筋が十分入っていれば被害は相当軽減されたであろう。

台湾の近代的なビルの建築様式は、ほとんどが図9に示すように道路に面した一階がピロティ形式になっており、柱が構造上の弱点になっている。倒壊を免れたビルの中にも、柱の上部が局所的に破壊し、塑性ヒンジが形成されたものが多数見られた。

橋梁は、視察した全てが単純支持方式のポストテンション PCT 桁形式であった。落橋防止構造は全く設けられていなかった。橋梁形式を連続構造としたり、桁連結装置を設けるなどの耐

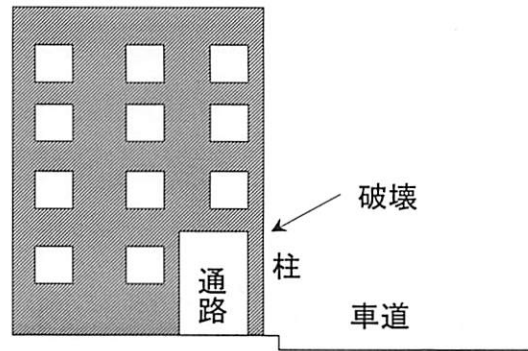


図 10 台湾の一般的な建築様式

震構造がなされていれば、被害は相当軽減されたと思われる。橋脚が転倒あるいは傾斜していた卑豊橋、石圓橋は十分な耐震設計がなされていたのであろうか。底版が小さすぎるように思えてならない。

冒頭でも記したように、集集地震による被災者数は、1999年10月11日時点で死者 2,329 人、行方不明者 84 人、負傷者 8,722 人と発表されている。決して少ない数ではないが、不幸中の幸いであった面も否定できない。

今回の地震では各地で小・中学校が倒壊したが、地震の発生時刻が午前 1 時 47 分であったため、児童は難を逃れることができた。また、断層が、台北市や台中市などの人口が密集する都会を通らなかったことも幸いした。さらに、地震後 2 ヶ月間は全く雨が降っていない。もしも雨が降っていれば、斜面崩壊や土石流が各所で多発したであろう。テントで暮らす多くの被災難民にコレラや赤痢などの伝染病が蔓延したかも知れない。

四国沖の南海トラフでは、フィリピン海プレートが四国をのせたユーラシアプレートに衝突している。事情は台湾と全く同じである。集集地震と同様な地震が四国内陸部で発生しないとはいえない。

高知県には 3,700 箇所を超す急傾斜地崩壊危険箇所がある。低地部には液状化危険箇所が広範囲に分布している。もしも、集集地震規模の地震に見舞われれば、県土全体が壊滅的被害を

受ける危険性がある。斜面崩壊、液状化に対して、ハード、ソフト両面からの対策が望まれる。

集集地震での被災原因となった車籠埔断層は、活断層として認識されていたものの、これが活動するとは誰も予想していなかった。改めて、地震予知の難しさを知らされた。また、活断層上では現在の耐震設計が全く歯が立たないことも確認された。

今後は、どのような活断層に対しても注意する必要がある。そして、活断層の近傍に重要構造物を造ることは避けなければならない。

8. 檳榔について

最後に、今回の視察目的とは全く関係ないことではあるが、大変興味を持った「檳榔」について記しておく。

台湾の街角や道路沿で「檳榔」の看板を掲げたブースを頻繁に見かけた。ネオンで派手に飾ったものが多い。ガラス貼りのブースの中にはノースリーブのワンピースを着た十代の若い女性が一人、あるいは三人で椅子に座って檳榔を売っている。お色気たっぷりなので、男性の興味をそそる。

檳榔とは檳榔椰子の実で、大きさは2~3cm程度。楕円形をしている。真ん中を二つに切り裂き、石灰と漢方薬を練混ぜた生チョコレートのようなものを挟み込んである。これをガムのように噛むと、頭がスッキリするのだそうだ。一種の覚醒剤のようなもの。

檳榔を長年食べていると喉頭ガン、胃ガンになるといわれ、政府は禁止しているが、長距離トラックやバスなどの運転手の90%は眠気覚ましとして常用しているようである。C班のワゴン車の運転手も、頻繁に噛んでいた。

好奇心から私も一つもらって噛んでみた。口の中が少し麻痺し、その後に吸ったタバコが軽く感じられた。

檳榔をたくさん買えば、お色気サービスがあ

るという説もあったが、残念ながら団員の誰も確認する機会がなかった。

山岳道路を走ると、バナナの木と共に檳榔椰子がたくさん栽培されていた。農家の主要な収入源になっているのであろう。

ところで、檳榔のことを、ガイドの孫氏は「ピンロウ」と呼んでいたが、これは日本語読み。一般の台湾人には通用しない。タクシーの運転手が「ピン・ナウ」と教えてくれた。でも、正しいアクセントができないと意味が通じない。

栃尾氏によれば、中国語は漢字の読み方が一通りであるので、アクセントを間違えれば全く異なった意味になるとのこと。例えば、電話で日本語風に「ハイハイ、どうも」と言えば、「ハイハイ」は〇〇〇、「どう」はたくさん、「も」は毛を意味するので要注意だそうだ。

9. あとがき

短期間にできるだけ多くの被災情報を収集したいというのが団員共通の思いであった。毎朝6時モーニングコールで起床し、7時にはホテルを出発した。そして、写真撮影ができなくなる日没まで被災地を精力的に走り回った。ハードな調査であった。それだけに多くの成果を得ることができたと確信している。

また、調査を終え台中に帰ってからの屋台、ビアガーデン、ビアホールでの夕食、クラブでの酒盛り。大変楽しい思い出となった。

今回の調査を企画し団長役をつとめられた八木先生、旅行会社やホテルと強引な交渉で格安の旅行を準備してくれた森先生、巧みな中国語で夕食の段取りをしてくれた栃尾氏をはじめ、メンバーの皆様から感謝いたします。

本文中の石園橋の写真は、斉藤氏の撮影によるものである。著者のカメラ操作上のミスで撮影に失敗したため、ご無理を言って提供していただいた。ご厚意に感謝申し上げます。