

台湾大地震（集集大地震）被害調査報告



平成 11 年 12 月 2 日

株式会社 建設企画コンサルタント

東京事業本部 耐震技術部

1. 調査目的：

- ①道路構造物（擁壁・橋梁・斜面など）の地震被害状況
- ②土木構造物の地震被害状況

2. 調査員：耐震技術部 堀田・黒田・石橋

3. 地震被害調査行程：

- ①10/11（月）：成田空発10:30日本アジア航空EG201便
台北着（以下現地時間）12:55
中正国際空港から台中に高速バスで移動
台中の地図ならびに地震被害関係雑誌を購入
台中市全国大飯店に宿泊
- ②10/12（火）：台中市北部近傍市町村の地震被害調査
台中市－豊原市－石岡－東勢市－和平－谷関地区
- ③10/13（水）：台中市南部近傍市町村の地震被害調査
台中市－大坑市－太平市－霧峰－南投市－集集－
中寮－中興新村地区の地震被害調査
- ④10/14（木）：午前中に台中から台北に列車にて移動
台北市内調査、台北発16:10日本アジア航空EG206便
20:15成田空港着

4. 地震諸元・地震被害状況

台湾中部で1999年9月21日午前1時47分18秒（現地時間）、マグニチュード7.7（USGS＝米国地質学研究所調べ、なお台湾中央気象局発表ではM=7.3、東大震研発表ではM=7.6）の内陸直下型地震が発生し、台湾北部（台北）、中部に甚大な被害を引き起こした。その後もマグニチュード7近い規模（9月26日7時52分（現地時間）にM=6.5(USGS), M=6.8(台湾中央気象局), M=6.4(東大震研)の余震）の余震が発生し、余震による死者も出ている。台湾内政部の発表によると、10月6日時点で死者2,295人、負傷者8,731人。震源は、台中の南約40kmに位置する南投県の集集（チーチー）付近で、観光地として知られる日月潭の西方約12km。今回の地震を台湾では「集集大地震」と呼んでいる。震源の深さ（USGS情報）は33km、台湾中央気象局は1.1kmと発表している。最大水平加速度は、震源の約10km北西の名間で観測された983gal（南北方向、図-4.1台湾中央気象局発表の観測地震動参照）。

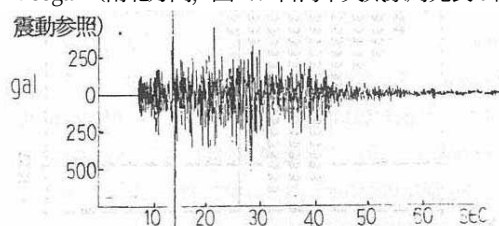


図-4.1 台湾中央気象局発表の観測地震動（震源約10km北西の名間で観測された地震動983gal（南北方向））

5. 断層

台湾付近では、台湾島が載る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ため東西方向の圧縮力を受け、東側の地盤が西側に乗り上げる形の逆断層が多数存在する（図-5.1台湾活断層分布図参照）。今回の地震は、その一つの「車籠埔（シャーロンポ）断層」がずれ動いたとされている。また、同断層の東側約10kmに平行して走る「雙冬断層」についてはほとんど変化がなかったとされている。その後の現地調査により、地表面に現れた断層はほぼ南北の約80kmの長さであり、断層の北端での走向は東北東－西北西に向いていることが確認されている（図-5.2台湾活断層調査結果参照）。南北走向の部分では逆断層成分が1～2m程度であるが、東北東走向の部分では逆断層成分は4～8m、横ずれ成分は1～9mと逆断層成分の大きさは世界第一級であることが確認されている。東京大学地震研究所地震予知情報センターの菊池教授によると、地震波の波形解析からメカニズムを求めており、それによるとメカニズムは東西圧縮の逆断層運動であり、推定断層面は東傾斜で、傾斜角は27度と推定されている。断層の長さは80km、幅は40km、平均すべり量は2.2mである。そして破壊は主に北へ進行し破壊運動は28秒続き、断層を境に東側のブロックが西側のブロックの上に乗り上げたものと報告されている（図-5.3活断層模式図参照）。



図-5.1 台湾活断層分布図
（国立中央大学応用地質研究所資料）

表-6.1 台湾の地震震度分級表

震度	名 稱	震 動 程 度	我 國 現 用 震 度 階
0	無 感	地震儀有記録、人體無感覺。	○ 0.8gal以下
1	微 震	人靜止時、或對地震敏感者可感到。	I 0.8・2.5gal
2	輕 震	門窗搖動、一般人均可感到。	II 2.5・8.0gal
3	弱 震	房屋搖動、門窗格格有聲、懸物搖擺、盛水動盪、靜止汽車明顯搖動。	III 8.0・25.0gal
4	中 震	房屋搖動甚烈、不穩物傾倒、較重傢具移動、可能有輕微災害。	IV 25・80gal
5	強 震	牆壁龜裂、牌坊燈籠傾倒、駕駛汽車者可感到地動、重傢具可能翻倒、設計不良之建築物有相當損壞、大多數人因驚嚇而感到不安。	V 80・250gal
6	烈 震	房屋倒塌、山崩地裂、地層斷陷、重傢具翻倒、駕駛汽車者嚴重受傷、井水發生變化、地面顯著裂開、地下導管破裂、建築基礎可能破壞、鐵軌彎曲。	VI 250gal以上

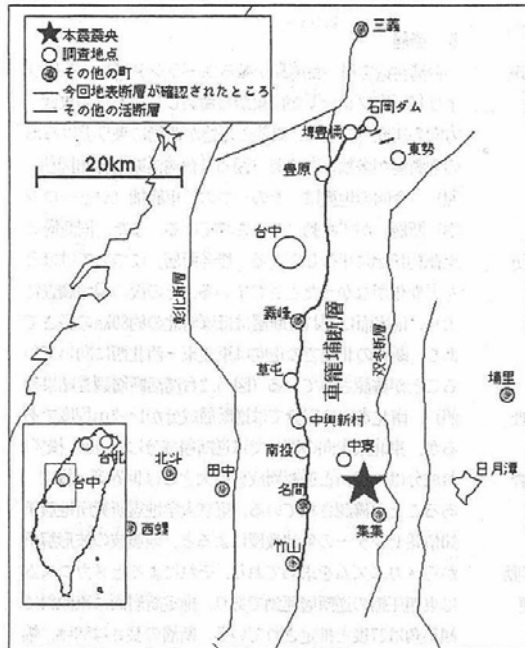


図-5.2 台湾活断層現地調査結果

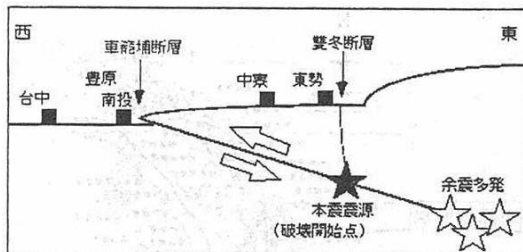


図-5.3 活断層による地表面変位の発生

6. 地震被害

(1) 各地の震度分布ならびに既往の地震被害

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(表-6.1台湾地震震度分級表参照)。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、南投、日月潭、嘉義、台南、新竹で震度5、台北、高雄で震度4である(図-6.1集集大地震による各地の震度分布参照)。また、台湾で過去に顕著な被害を及ぼした地震の履歴を表-6.2に示している。

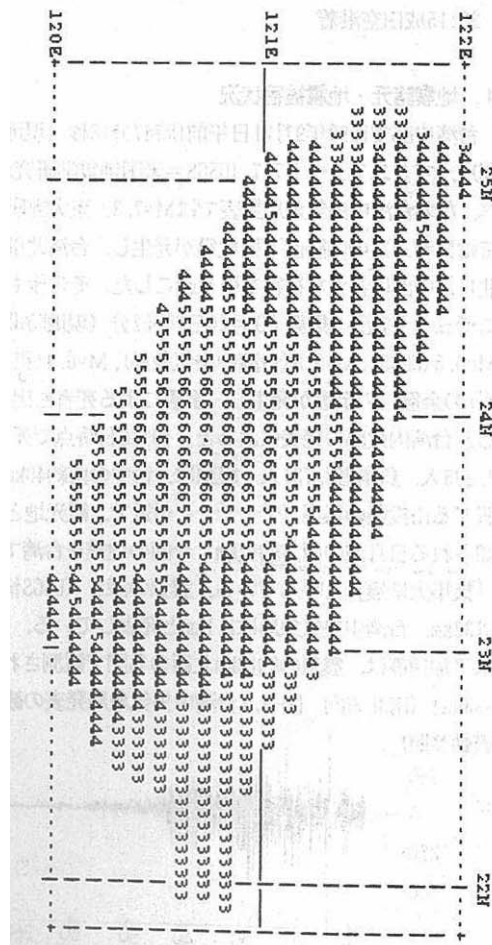


図-6.1 集集大地震の各地の震度分布

表-6.2 台湾で過去に顕著な被害を及ぼした地震の履歴

日付	時刻	緯度	経度	深さ	M	死者	負傷	被害	備考
1661.02.15		23.00	120.20		6.0	Many	-	seve	台南地震
1720.10.31		23.00	120.30		5.5	Many	-	some	
1721.01.05		23.00	120.30		6.0	Many	-	some	
1736.01.30	2:00	23.10	120.30		6.0	372	129	seve	
1776.12		23.50	120.50		5.5	Many	-	cons	嘉義地震
1777.11		23.50	120.50		5.5	Many	-		
1792.08.07		23.60	120.50			252	-	seve	
1792.08.09	17:00	23.60	120.50		6.8	617	781	seve	嘉義地震
1815.10.13	22:00	25.20	121.20		6.5	113	2	seve	淡水地震
1839.06.27	8:00	23.40	120.40		6.5	117	534	seve	
1845.03.04	12:00	24.10	120.50		6.0	381	数百	seve	
1848.02.12	6:00	24.10	120.50		7.1	1,030	Many	seve	
1848.12.03		24.10	120.50		6.8	2,000	数千	extr	彰化地震
1862.06.07	10:00	23.40	120.10		6.5	数千	数千	extr	嘉義地震
1865.11.06		24.90	121.60		6.0	Many	-	some	
1867.12.18		25.50	121.70		6.0	数百	-	some	基隆北海地震
1904.11.06	4:25	23.50	120.30		6.2	145	158	seve	嘉義地震
1906.03.17	6:42	23.60	120.50		6.8	1,258	2,385	seve	嘉義地震
1935.04.21	6:01	24.30	120.80		7.1	3,276	12,053	extr	苗栗地震/新竹・台中地震
1941.12.17	3:19	23.30	120.30		7.0	357	718	seve	嘉義地震
1964.01.18	20:04	23.10	120.60		7.0	106	650	seve	台南東北地震

(2) 各地の地震被害状況

我々が今回の台湾集集大地震にてまず感じたのは、集集大地震は活断層の断層変位に伴う被害が多く発生したことである。我が国においても断層変位は、例えば濃尾大地震、兵庫県南部地震による淡路島において観測されている。しかし、集集大地震においては、我々が確認した地点では、最大鉛直変位で8m、水平変位で5mと非常に大規模であり、この地表地震断層を含む上盤側に幅10～100mにわたり岩盤が膨れ上がっている。この断層変位沿いの特に上盤側の建築構造物、土木構造物（橋梁、道路など）は例外なく甚大な被害が生じていることが確認された。但し、この擾乱帯からはずれると多くの建造物の被害はほとんど受けていないことが確認された。このように当地震では、長さ約80kmにわたって台中市東方に縦ずれ成分に富んだ地表地震断層が出現しており、断層の走向はほぼ南北で、東側が西側に対して2～6mほど隆起している。台中縣豊原市の大甲溪では、川底に生じた約5mの段差が滝を形成しているのも確認された。台湾中部の台中地方の地震被害調査地点を図-6.2に示す。



図-6.2 集集大地震による地震被害調査地点

① 建築物の被害状況

建築物の被害の特徴としては、2～4階建ての建物の1階部分が壊れている例が多い。これは、1階部分は商店や車庫として使用され、壁が少なく地震耐力的に弱い構造になっている為と考えられる。一方、3～5階建ての建物の2階部分が破壊されている例も多く見受けられ、これは台湾の建築工学関係者によると1階部分は、柱と柱の間をレンガで支えるため建物全体が剛構造となり、地震動による応力集中が2階の床部分に生じるためと考察されている。また、前述したように活断層の活動により、活断層直上の建物の被害は断層の上盤側（断層線の東側）に集中していることが確認された。また、活断層直上の建物で写真-6.1に示すように比較的大きな建造物は、建物の目地部に破断が生じ、下盤側（断層線の西側）に滑動する現象が確認された。一方、同様に活断層直上の比較的大きな建造物にて目地が構造的に施されていない建物は、写真-6.2に示すように上盤側に引っ張られせん断現象が生じ、建物全体が崩壊している例も確認された。



写真-6.1 地震断層により被害を受けた建物
(豊平地区・豊勢路二段沿い)



写真-6.2 地震断層により被害を受けた小学校
(霧峰市街の小学校)

中興新村断層は、台湾省政府建設庁と工研院エネルギー及び資源研究所の合同調査により発見された断層である。同地区には、写真-6.3に示すように「これより東側約350mに本断層の露頭が確認された旨」表示が行われており、かつ「断層の発生年代から判断すると本断層は活断層ではなく、地震災害を引き起こすものではない」と明示されている。しかし、同地区にては、この看板の真下に地震断層が現れており、かつ写真-6.4に示すような建物被害が多く発生していた。



写真-6.3 中興新村断層位置の標示



写真-6.4 1階部分が崩壊した台湾省の図書館

② 橋梁構造物

豊原市と石岡の間に位置する大甲溪を渡る長夷大橋が、断層変位により断ち切れ落橋している（写真-6.5参照）。なお、同橋は軍隊により応急復旧がなされており、調査時点では通常の交通は確保されていた（写真-6.6参照）。



写真-6.5 長夷大橋（石岡地区）の落橋



写真-6.8 一江橋近傍で確認された地震断層



写真-6.6 長夷大橋の応急復旧状況

大平地区の一江橋においても断層変位により、落橋が発生している（写真-6.7参照）。同橋の近傍では、地表露頭断層が鉛直変位で約4m程度生じているのが確認されており、近傍のビルディングが断層変位の隆起により傾斜しているのが確認された（写真-6.8参照）。



写真-6.7 一江橋（大平地区）の落橋

③ 石岡ダム

豊原市の東北に位置する台中縣石岡郷では、大甲溪にある石岡ダムが地震断層によって崩壊した（写真-6.9参照）。当ダム地点では、断層の鉛直変位が8mと非常に大きな変位が生じており、ダムの機能は全くなしていない状況であった。



写真-6.9 石岡ダムの崩壊状況（向かって左側が隆起）

④ 複合的な地震時挙動

地表断層変位により形成された急斜面にて、地盤の安定性が損なわれ瞬時にすべり崩壊現象が生じた例が大杭地区に位置する軍功国中小学校にて観測された。写真-6.10～11にその被害状況を示している。当地区では、断層沿いの上盤側の建物はほとんど崩壊しており、たまた同小学校・併設の幼稚園では、校舎をかすめるようにして地表断層が現れ、校舎そのものの壊滅的な崩壊は免れている。しかし、地震断層の隆起によりグラウンド端部擁壁の転倒が起り上盤側の運動場、テニスコートにてすべり崩壊が生じ、幼稚園の遊戯施設は、下盤側に滑落している。



写真-6.10 軍功国中小学校グラウンドのすべり崩壊



写真-6.13 石岡地区の豊勢路道路の脇道（隆起量2m）



写真-6.11 断層上の擁壁が隆起し転倒することにより生じた斜面のすべり崩壊状況



写真-6.14 豊平地区の田んぼ（隆起量3m）

⑤ 地表地震断層の出現状況

地表地震断層の出現形態は様々で、その出現状況を以下に示す。

- 道路を横断するように現れた地表地震断層
- 田んぼに現れた地表地震断層
- トラック競技場に現れた地表地震断層



写真-6.12 大杭花園城付近の道路（隆起量3m）



写真-6.15 霧峰市街の競技場（隆起量2m）

以上のように、地表地震断層の出現形態は様々であり、地表付近の地盤条件に左右し、非常に滑らかな形態や鋭角にカットされたように出現することが確認された。そして、活断層上に建物・土木構造物が存在した場合は、その活断層帯が大規模な地震を起こして地盤がずれると、構造物の被害は極めて深刻であることが再認識された。こうした事態を回避するためには、日本学術会議阪神・淡路大震災・調査特別委員会第2次報告でもなされたように「活断層法」を早急に制定することが望まれる。

⑥ 斜面崩壊

山岳道路の斜面崩壊について、豊原市から谷關に向かって中部横貫公路沿いに地形と地震被害の調査を行った。

(1)台湾の地形地質概要

a)地形概要

台湾は海拔 3,000～4,000m の多くの山々からなる中央山脈が東側に偏って南北に発達しているため、台湾は地形的に東西方向は非対称となっている。西部の海拔 1,000m以下の山稜列は全体的にみると引き延ばされた S 字状を成し、ほぼ南北に走る。その西方は丘陵地から平原にうつりつつ、台湾海峡にのぞむ。

東部に南北方向を示す細長い海岸山脈(Coastal Range)があり、海拔 500～1,700m の山々からなる。

東北部にある宜蘭平原は沖縄トラフに西南部にある屏東平原は南シナ海の花盆につながるとみられる。小さい面積の割に堆積岩からなる幾多の高山が連峰をなしている。

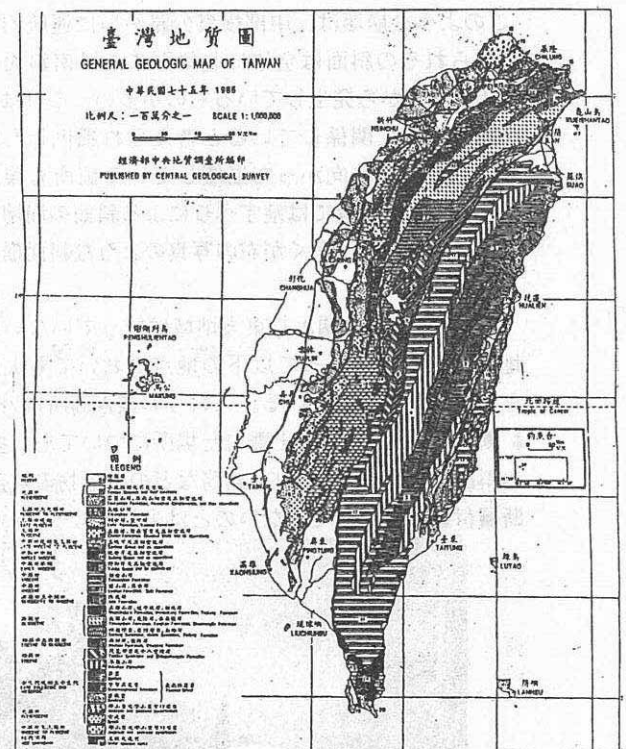
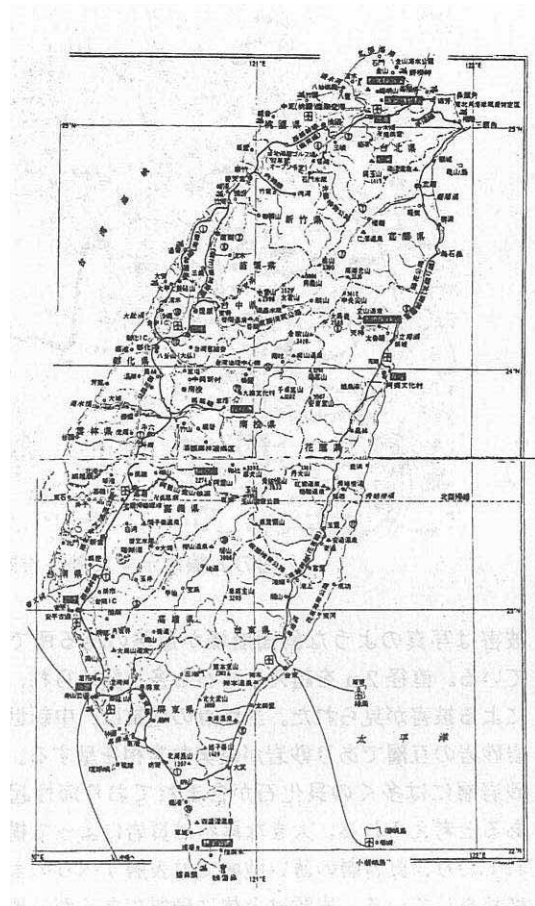
中部横貫公路は豊原市より新城まで台湾本土を横断する主幹道路である。大甲溪に沿った比較的に平坦な道路と、中央山脈を越える峠道で構成される。路線が山裾を沿うようにとってあるため急勾配斜面に面する箇所が多いが、落石対策等の処置はされていない。

b)地質

台湾の地質は主に堆積岩と変成した堆積岩からなり、火山岩は少なく深成岩は極めて限られた小地域にあるにすぎない。変成岩は主に中央山脈、特にその東斜面に分布している。地層区分と地質構造からみて、ほぼ南北に走る 4 帯に区分される。西から東に西部帯・スレート帯・片岩帯および東部帯となる。

c)岩相層序

露出地層中、現在確認されている時代は二疊紀・古代三紀・新第三紀・第四紀のみである。西部帯は主に新第三紀と第四紀層に覆われ、新第三紀層は北から南に次第に若い層が露出する。岩質は北部で砂岩頁岩互層を主とするのに対し、南部ではシルト岩を伴う頁岩が優勢となる。スレート帯は中世代、古代三紀および新第三紀層を主とする。雪山山脈では粗粒アルプス砂岩・スレート・頁岩が多く、中央山脈側は少量の砂岩を挟むスレートと頁岩が優勢になる。片岩帯は各種の片岩類、結晶質石灰岩および片麻岩からなる。その源岩は古生代晩期と中世代初期の砂岩・頁岩・火成碎屑岩・石灰岩を主とする。東部帯は主に新第三紀と第四紀層からなり、新第三紀層の下部は安山岩質集塊岩、上部は頁岩・シルト岩・礫岩からなる。



(台湾經濟部中央地質調查所資料)

2)被害状況



上図の太線に示す東勢～谷關の被害状況について以下に示す。

被害は写真のような斜面崩壊が道路の至る所で起きている。直径2mを超える巨石も多く認められ、落石による被害が見られた。当地点の地質は、中新世の頁岩砂岩の互層であり砂岩が優勢な岩相を呈する。また、砂岩層には多くの貝化石が含まれており海成堆積物であると考えられる。大きな落石は頁岩によって構成されており、頁岩層の薄い地域では表層すべりのような様相をしている。岩質は全体に硬質であるが、風化により砂岩の弱化が進んでおり、元々浮き石が生じ易い岩相であったと考えられる。

このような崩壊は、中部横貫公路沿いに連続的に多く見られその斜面は全体に北斜面または南斜面に多く山頂近くから発生しているものが多い、これは地層の層理方向に向かって崩壊している箇所も観察された。今回の調査では地すべりによる斜面の崩壊はほとんど見られず、多くが以下の写真のような斜面崩壊である。今回の調査は谷關より東方地域は行っていないが、地元紙の報道によって以下の地点においても大規模な斜面崩壊が生じている。これらの被害箇所はシャ-ロボ断層から30km以上離れた場所についても、多くの斜面崩壊が生じており、霧峰などの構造物の被害が断層付近しか生じていないのとは少し異なっている。

