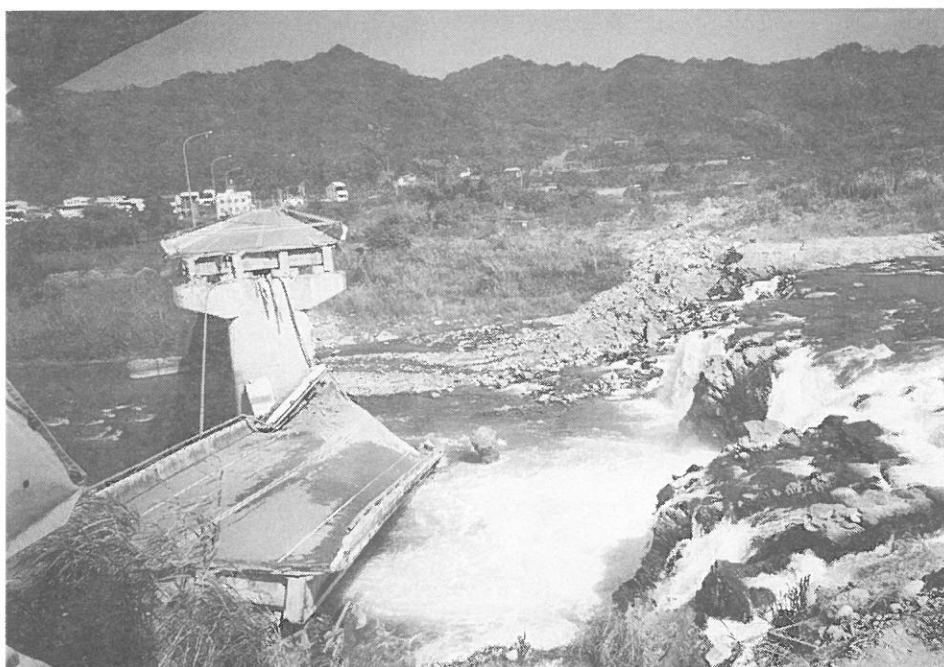


1999年 台湾集集地震被害調査報告書



平成 12 年 3 月

財団法人 地震予知総合研究振興会

目 次

1. まえがき	1
2. 調査行程および結果の概要	3
3. 石岡から名間の間の被害	
3.1 ライフラインの被害	9
3.2 橋梁の被害	31
3.3 断層によるその他の被害	55
4. 員林の被害	66
5. 日月潭とその周辺の被害	
5.1 ダムの被害	71
5.2 埔里での建物の被害	77
5.3 斜面崩壊	80
6. 台中港の被害	82

1 まえがき

1999年9月21日に台湾中部を襲った台湾・集集地震は、台湾中部の山岳地帯から低地にかけて死者2333人に及ぶ甚大な被害をもたらした。被害の大部分は地表に表れた数メートルにも及ぶ断層によるものであったが、その他、山崩れや液状化による被害も多く発生した。

この地震に対しては、台湾の各研究者が地震後に迅速な調査をされ、また、日本からもいくつかの調査団が地震後1~2週間の間に調査に出かけられた。これらの方々によって被害の概要は国内にいても明らかになった。ただし、地震による構造物の被災のメカニズムは一般に複雑であり、やはり現地で実際に調査をしてみないとわからなく、また、調査時期をずらすと地震直後よりも被害状況や地盤状況などがはっきりしてくることが多いため、地震発生約1ヶ月後に(財)地震予知総合研究振興会が組織した本調査団が派遣されることになった。調査団は科学技術庁防災科学技術研究所片山恒雄所長を団長として結成した。なお現地調査団としては東京電機大学安田進教授を団長とした。

調査団はライフラインの耐震工学や地盤工学、災害保険を専門にする団員で構成されているため、特にこれらの面からの調査を主な目的とした。また過去にも1985年メキシコ地震以来、被害調査を数多く手がけてきた団員が多く、それらの被害との対比も考えながら調査をおこなった。したがって、本調査報告書では、被害全体を一般的にまとめるというよりは、調査団員個々が着目した被害に関して、過去の地震被害との対比等を行いつつまとめてみた。

現地調査団の構成は以下の通りである。

氏名	所属
安田 進	東京電機大学 理工学部 建設環境工学科
宮本 幸始*	東京電力株式会社 電力技術研究所
谷山 尚	埼玉大学 工学部 建設工学科
田蔵 隆	清水建設株式会社 技術研究所
吉田 望	佐藤工業株式会社 中央技術研究所
岩本 利行	株式会社クボタ パイプシステム事業本部
佐藤 正行	東電設計株式会社 技術開発本部
東 均	東電設計株式会社 技術開発本部
須田 純也	損害保険料率算定会 地震保険部
河端伸一郎	日本鋼管株式会社 エネルギーエンジニアリング本部
鈴木 信久	日本鋼管株式会社 エンジニアリング研究所
亀井 祐聡	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 技術開発部

*途中から参加

現地調査の概略の日程を以下に示す。

10月30日(土)	第1陣台北着
10月31日(日)	台北の調査
11月1日(月)	第1陣石岡付近調査, 第2陣台北着, 台中にて合流
11月2日(火)	太平から名間にかけての断層付近の調査
11月3日(水)	員林から台中港にかけての低地の調査

11月4日(木)	Aグループ：日月潭付近のダムや斜面の調査，Bグループ：断層付近の調査
11月5日(金)	国立台湾大学訪問，第1陣帰国
11月6日(土)	第2陣帰国

なお，本調査にあたって，中央研究院地球科学研究所の王錦華博士、台湾電力の陳如斌氏，藤倉台湾支店の甲斐敏氏，国立台湾大学の陳正興教授に大変お世話になった。深く感謝する次第である。

2 調査行程および結果概要

2.1 調査行程

本調査団は10月30日から11月6日にわたって、①水道・ガス、橋梁、ソフトと②電力、ダム、山地の2グループに分かれて被害調査を行った。表-2.1に調査行程を記す。

表-2.1 調査行程

月日	行程	
	(水道・ガス、橋梁、ソフト)	(電力、ダム、山地)
10/30(土) 10/31(日)	日本発、台北着 一部、台北市内被害調査(松山ホテル)	
11/01(月)	台北→台中 訪問機関…中央研究院地球科学研究所 国家地震工程研究中心 調査地…新竹(半導体工場) 豊原(向陽路、公園一号橋) 石岡(石岡ダム) 東勢(河濱公園前)	日本発、台北經由台中着 訪問機関…日商藤倉(台北市内) 調査地…松山ホテル(台北市内)
11/02(火)	台中近郊被害調査 調査地…太平(一江橋)、霧峰(烏溪橋) 草屯(同徳工専近郊、役場、敦化国小、溪頭橋、平林橋、猫羅溪橋)	台中近郊被害調査 調査地…太平(一江橋) 訪問機関…霧峰変電所 調査地…霧峰(鉄塔、烏溪橋) 南投(軍功橋、緑美橋、新街小学校(地震計))、 名間(R16&R3交差点付近の鉄塔と鉄道、名竹大橋)
11/03(水)	台中近郊被害調査 調査地…石岡(石岡ダム、豊原給水 站、俾豊橋*) 台中港 台中(車站台汽客運前、 五権南路徳昌新世界)	台中近郊被害調査 調査地…員林(国富鎮ビル等、鉄 塔) 台中港

11/04(木)	台中近郊被害調査 調査地…霧峰（光復国小中） 員林（萬崙橋、国富鎮ビル、富貴名門ビル） 社頭（山湖村） 名間（R16&R3交差点付近） 竹山（名竹大橋） 集集（斜張橋）、南投（軍功橋）	台中近郊被害調査 調査地…名間（R16&R3交差点付近の鉄塔と鉄道） 訪問機関…大観発電所 調査地…日月潭（ダム，九分二山） 埔里（建物被害）
11/05(金)	台中→台北 調査地…台中市清掃工場 訪問機関…交通部中央気象局	台中→台北 調査地…石岡（俾豊橋*，長庚大橋，石岡堰） 訪問機関…国立台湾大学 台北発、帰国
11/06(土)	台北発、帰国	

* 俾は土偏が正しい

2.2 結果概要

今回の調査結果の概要を表-2.2に記す。ここで、調査地の位置関係は図-2.1に示すとおりである。

表-2.2 調査結果概要

県	市/鎮/郷	(英文)	被害	日付
	台北市	Taipei	b 松山ホテルが倒壊	10/31
新竹	新竹市	Hsingchu	b 半導体工場建家に損傷ないが、生産機能停止	11/01
台中	豊原市	Fengyuan	a 水源路公園一号橋付近で断層による3m程度の段差	11/01
			f 向陽路向陽加油站付近の集合住宅が倒壊、水道管(φ200mm)の補修工事	11/01
	台中市	Taichung	b 五權南路徳昌新世界ビルの北側棟のみ1F全壊	11/02
			b 台中車站前台汽客運ビルに軽微な被害("Cosmetic repair"済み)	11/04
台中	太平市	Taiping	c 一江橋の西側(右岸)2スパンが落下、P2が約1.5m上昇、P3が倒壊	11/02
			f 一江橋北側の水管橋の水道管(φ1000mm)が落下。現在復旧済みだが、余震により東側(左岸)が上昇	11/02

			f	水道管(鋼管; ϕ 800mm)の破断(橋東側に放置)	11/02
			f	水道管(ダクタイル鋳鉄管; ϕ 900)の破断(橋東側に放置)	11/02
台中	霧峰郷	Wufeng	a	光復国小中南側の河川(乾溪)堤防に約1.5mの段差	11/04
			a	光復国小中のグラウンド東側が約2.0m隆起、断層面に地割れ多数	11/04
			a	烏溪(Wuhsi)橋右岸(北側)東側河川敷に断層あり、段差1.5~2.0m,左右のずれ約1.5m	11/02
			b	光復国中の3F建て校舎(断層上)の1F柱が東西方向にせん断破壊。その南側の小学校は断層上になく、無被害	11/04
			c	烏溪橋旧橋の橋桁北側2スパンが落下、新橋の各スパン橋桁ジョイント部が圧縮力により5cm程度盛り上がる	11/02
			c	烏溪橋新橋(下流側)北側橋脚がせん断破壊、旧橋(上流側)橋脚を含めて下流側に移動	11/02
			f	烏溪橋添架のガス管(4"~8")が変形、とくに8"の曲げ変形が大きい	11/02
台中	台中港	Taichung-Port	a	3号岸壁(ケーソン;幅16m)が海面側に約0.5m移動、3号~4号岸壁にかけて護岸背面の沈下(0.3~0.6m)	11/03
			f	原油配管のうち、ピット部は健全、立上り部は原油が管表面に付着し護岸背面にも広がる。立上り部フランジから原油が漏洩したものと推定。	11/03
南投	南投市	Nantou	a	軍功橋から400m上流の平林溪左岸(北側)に南北に断層(軍功橋からの遠景ゆえ段差不明)	11/04
			c	猫羅溪橋の照明がカバーごと落下、照明ポールは健全と思われる。	11/02
			c	軍功橋の支承に損傷	11/04
南投	名間郷	Mingchien	d	集集線で、広範囲にわたってレールの座屈、地盤の液状化	11/04
			e	R16&R3交差点付近の鉄塔基礎が倒壊	11/04
				上記鉄塔基礎付近のセメントサイロ2基のうち、道路側1基が倒壊	11/04
南投	竹山鎮	Chushan	a	名竹(Mingchu)大橋南側河川敷に液状化跡および段差(約1.5m)あり	11/04

			c	名竹大橋南側約200mが破壊（現在、被災部分撤去済み）	11/04
彰化	員林鎮	Yuanlin	a	国富鎮集合住宅地下室(駐車場)に液状化跡あり、建家主部材は健全、電気・ガス・水道も平常通り供給	11/04
			b	富貴名門集合住宅が北側に傾斜	11/04
			c	萬崙(Wanluen)橋西詰欄干が破損	11/04
			f	萬崙橋添架の水道管(φ80mm)継手が曲げ変形を受けるが、管自体は健全	11/04
台中	石岡郷	Shihkang	a	石岡ダムの堤体のうち3門に段差(約7.6m)生じる	11/01
			a	石岡ダム取水トンネルに段差(約4.0m)が生じて破壊	11/03
			a	豊原給水站西側が国道3号線沿いに5.0~6.8mの段差、断層が給水站北側で国道3号線を横断し俾豊橋に至る	11/03
			a	俾豊(Pifeng)橋上流約100m地点で逆断層が生じる	11/03
			c	俾豊橋南側(左岸)の橋桁が落下し橋脚(P11)が倒壊、南詰めが約7.0m隆起	11/03
			c	豊勢橋(国道3号線~石岡ダム)が全壊、現在仮設橋にて供用中	11/01
			c	長庚(Changgung)大橋南側(左岸)の橋桁が落下、現在仮設道路を使用	11/01
			c	石圍(Shihwei)橋の橋桁が落下、橋脚が傾斜	11/01
			f	豊原給水站直近の供給管(鋼管φ2000mm)が引張&せん断破壊	11/03
			f	豊原給水站直近の供給管(鑄鉄管φ1800mm)曲管が座屈	11/03
台中	東勢鎮	Tungshih	b	麦当勞(マクドナルド)付近の集合住宅1Fピロティ柱が破壊し建家が傾倒	11/01
南投	草屯鎮	Tsaotun	a	同徳工專入口付近に南北方向に断層(段差1.0m)、断層上盤側で盛土道路の擁壁のはらみだし	11/02
			a	上記より約700m南の国道3号線東50mに断層	11/02
			a	溪頭橋東側(右岸)河川敷に多数の噴砂跡あり、ただし堤内地に盛土があるため液状化による沈下がなかった(推測)	11/02

			c	溪頭橋東側（右岸）の中部第二高速公路（建設中）の橋脚が落下	11/02
			c	<平林橋の被害確認できず>	11/02
南投	集集鎮	Chichi	a	斜張橋（建設中）北側の河川敷に断層、側方流動跡	11/04
			c	斜張橋（建設中）の主桁にずれ、ケーブルカッターの破断1カ所、主塔に取り付く橋桁のせん断破壊	11/04
			c	斜張橋取り付け道路の各橋脚に水平クラック（現在、鋼板巻きにて補修中）	11/04
南投	日月潭	Jihuyuehtan	a	水社ダム・頭社ダムでダム表面にクラック、モルタル・アスファルトで補修、台湾電力は機能上の問題なしと判断	11/04
			a	埔里に向かう途中、九分二山の崩壊状況を遠方から確認	
南投	埔里鎮	Puli	b	多くの建物が崩壊、柱・壁の中に入っている一斗缶を散見	11/04
			a	台中への帰路、九九峰の崩壊を確認、全山が禿山になったように崩壊	

凡例： a 地盤・ダム
b 建築
c 橋梁
d 鉄道
e 電力
f 上下水道・ガス

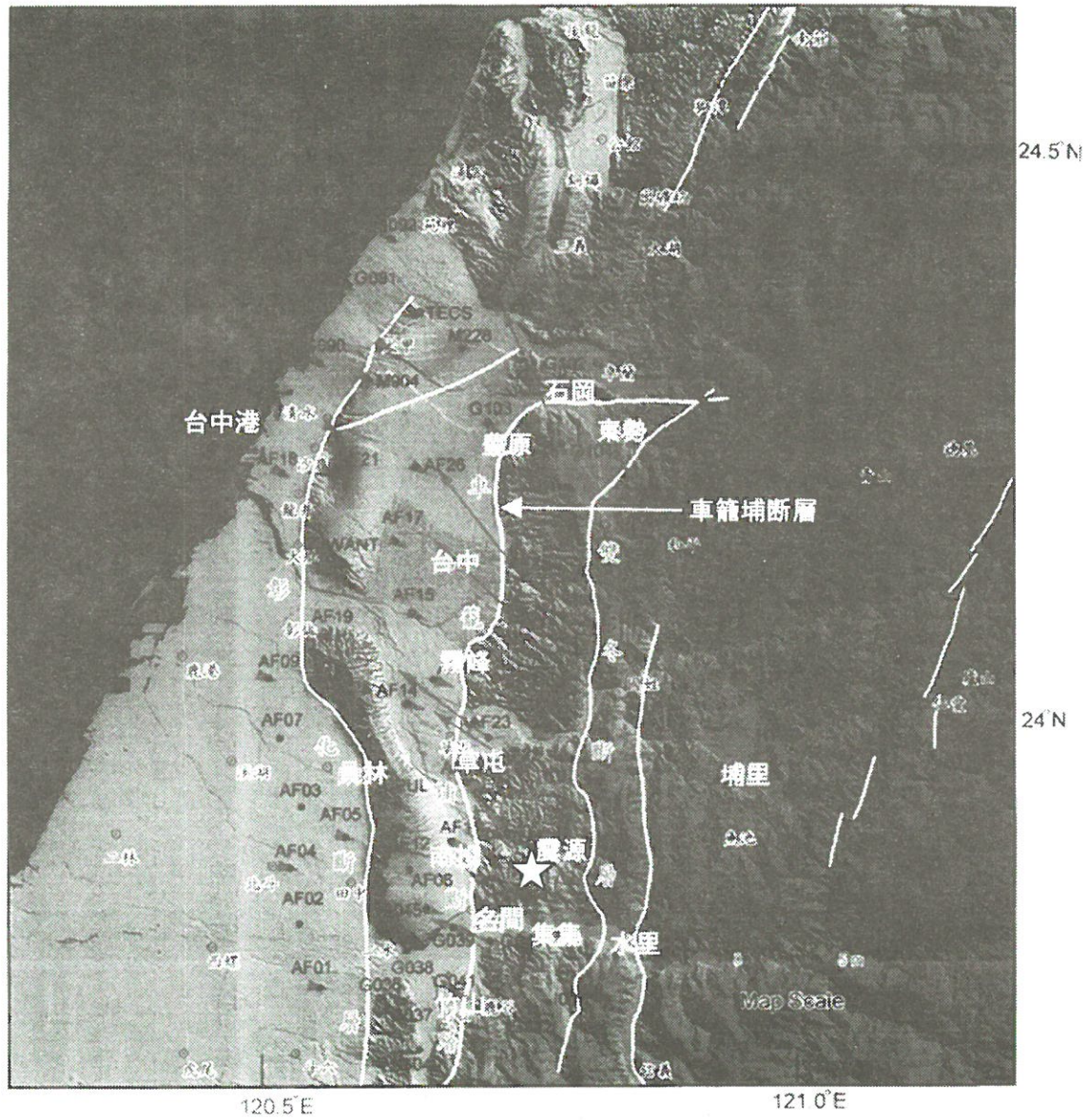


図-2.1 調査地点概略図(台湾中西部)

(交通部中央气象局 中国地球物理学会, 集集大地震特集より抜粋、一部加筆)

3 石岡から名間の間の被害

3.1 ライフラインの被害

3.1.1 管路の被害

調査時点において、都市ガス導管、上水道管路、下水道管路、通信管路に関する詳細な被害状況は不明であるが、現地で確認した管路の被害状況および復旧作業に関する調査結果を以下に示す。また、被害および復旧状況の調査地点を図 3.1.1 に示す。

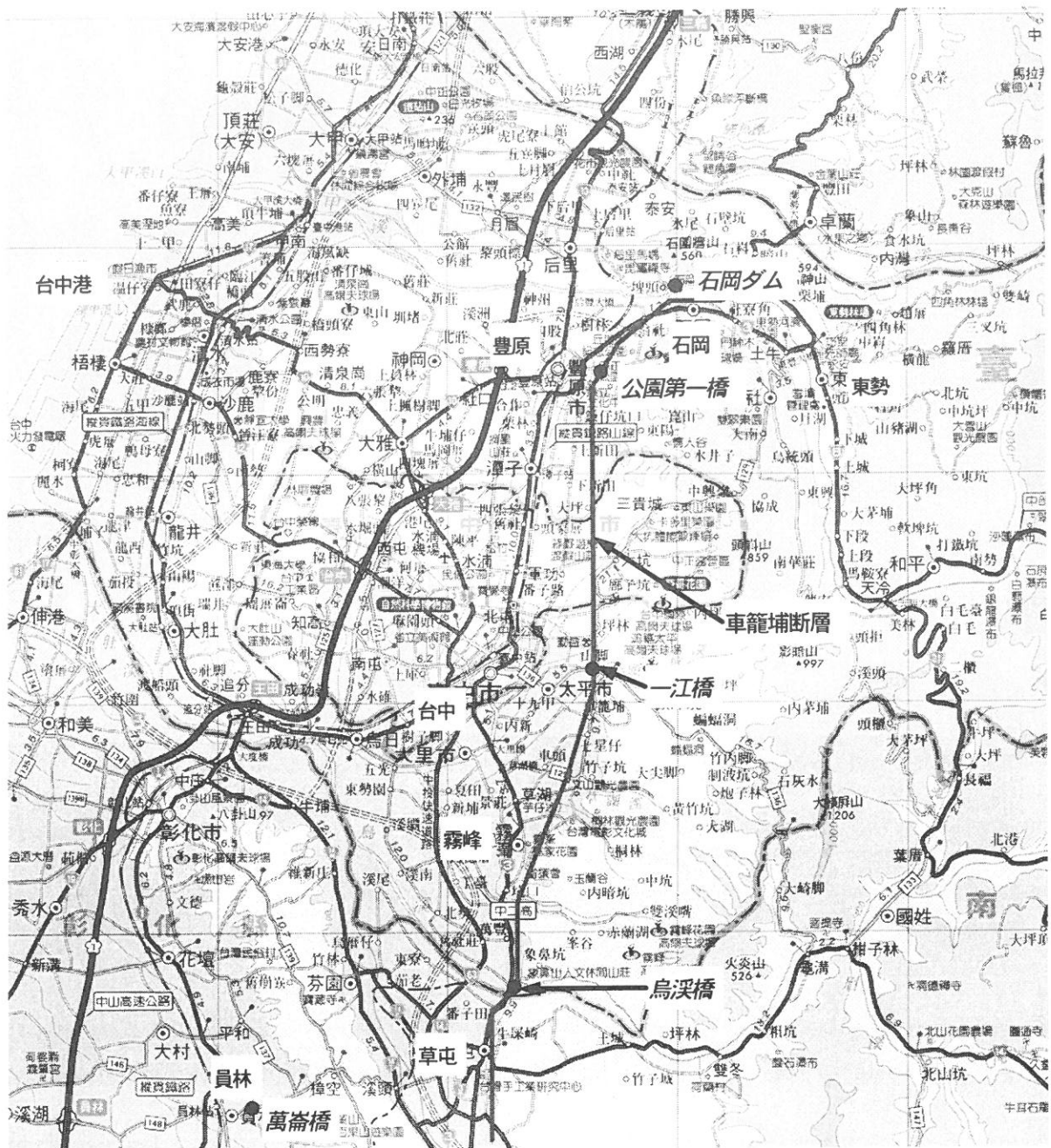


図 3.1.1 埋設管の被害および復旧状況の調査地点

(1) 添架水道管の変形（豊原市街）

豊原市水源路公園一号橋(道路橋)が断層変位によって崩壊した。水源路公園一号橋周辺の地図を図3.1.2に示す。地震直後における一号橋の被害状況は不明である。写真3.1.1は一号橋が撤去され、一号橋に添架されていた口径200mmの添架水道管が支持金具をつけたまま変形している状況を示している。添架水道管がこのような状態に至った経緯は不明であるが、崩壊した一号橋から支持金具が外れたために、添架水道管に過大な荷重が作用しなかったものと考えられる。

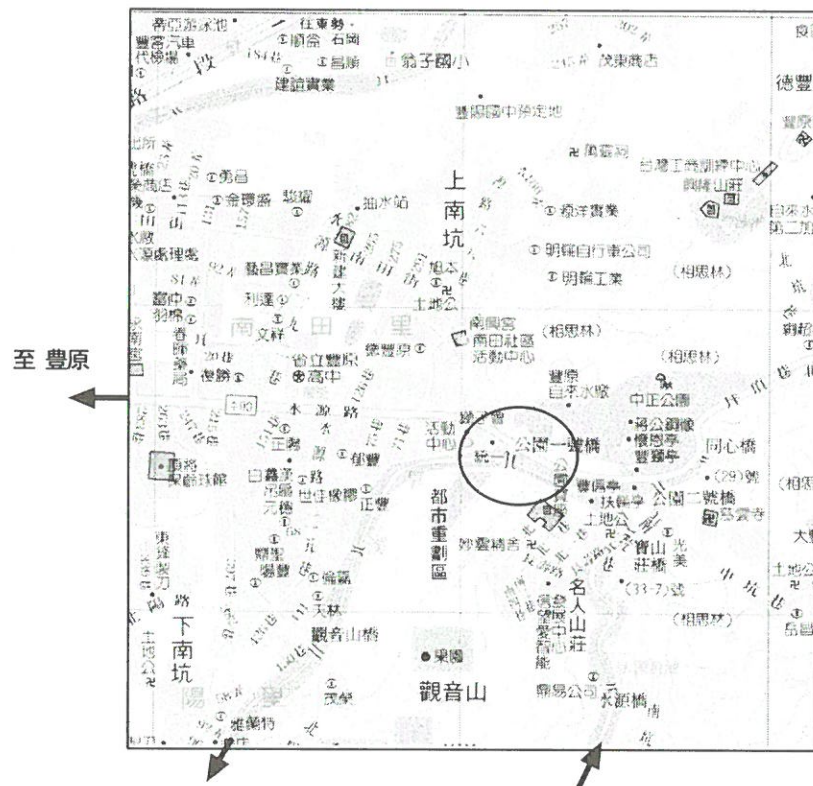


図3.1.2 豊原市水源路公園一号橋の周辺

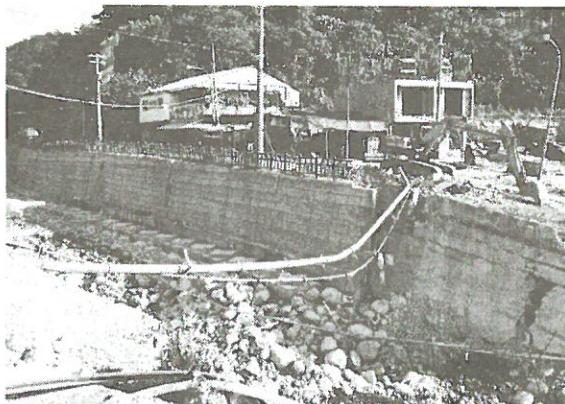


写真3.1.1 一号橋の撤去跡と添架水道管
(右岸側から左岸側を望む)

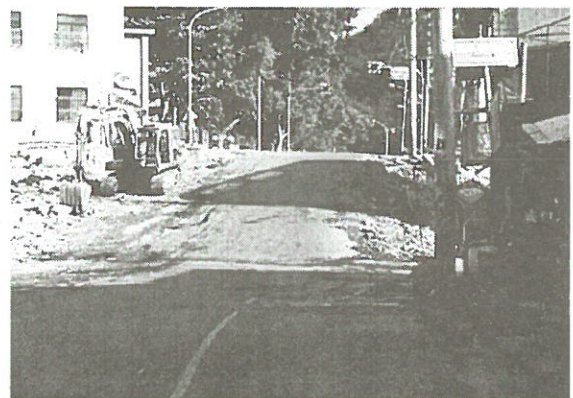


写真3.1.2 一号橋の北西側道路の断層
(断層変位は約3~5mで修復後の状況)

写真 3.1.2 には破壊した一号橋北側の道路に残る断層変位の遠景を示す。道路の右側に一号橋があり、断層は道路をほぼ直角に横断している。断層の鉛直変位量は約 3~5m であったが、調査時点では道路の仮復旧が済んでいたために、断層というよりはやや急なスロープという感じであった。断層は一号橋の左岸側は山裾の方向に伸びており(写真 3.1.3)、右岸側は南田社区活動中心(写真 3.1.4 の方向)の方向に伸びている。



写真 3.1.3 一号橋左岸側の断層変位と被害
(左側が断層の上盤側にあたる)



写真 3.1.4 一号橋右岸側の断層変位と被害
(右側が断層の上盤側にあたる)

(2) 一江橋水管橋 (台中県太平市)

一江橋道路橋の上流 30m に位置する独立水管橋(口径 1000mm、全長約 200m)が、断層変位によって写真 3.1.5 のような被害を受けた。一江橋および水管橋周辺の地図を図 3.1.3 に示す。一江橋の被害状況については橋梁の被害に詳述されているので本項では省略する。

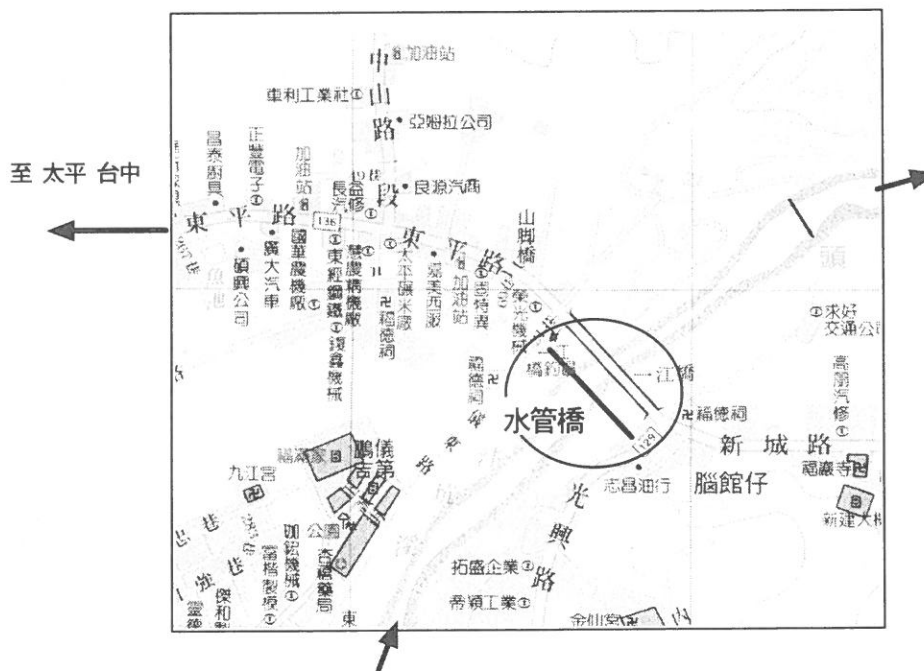


図 3.1.3 一江橋および水管橋の周辺

一江橋水管橋は断層変位によって被害を受けたが、調査時点においては被害状況を確認できなかった。写真 3.1.5(土木学会調査団)は復旧作業の初期段階において撮影されたもので、写真奥が落下した一江橋道路橋で手前が落下した水管橋である。写真に示すように、水管橋は右岸橋台から 4 本目の橋脚までの 3 径間が落下している。3 径間目のパイプは橋脚上の継手(ドレッサージョイント)で折れ曲がり、片端が落下している。

調査時点において水管橋は写真 3.1.6 のように復旧されていたが、新しい水管橋にはスパイラル鋼管や板巻き鋼管が混在して使用されており、橋脚の頂部にはレベル調整のためにライナープレートが使用されている(写真 3.1.7、写真 3.1.8)。また、右岸および中央径間のドレッサー継手は写真 3.1.7 および写真 3.1.8 のように角変形が発生しているが、余震の影響と思われる。

さらに、一江橋左岸の資材置き場に積まれていた口径 600~800mm の損傷した鑄鉄管を示すが、被害発生位置、被害状況および埋設条件などは不明である。



写真 3.1.5 一江橋水管橋の被害状況
(上流側中州から右岸側を望む)
(土木学会調査団)

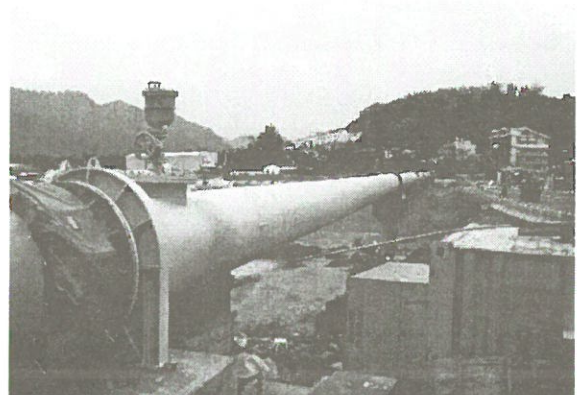


写真 3.1.6 復旧した一江橋水管橋の全景
(右岸下流側から望む)
(写真右側が一江橋(道路橋))

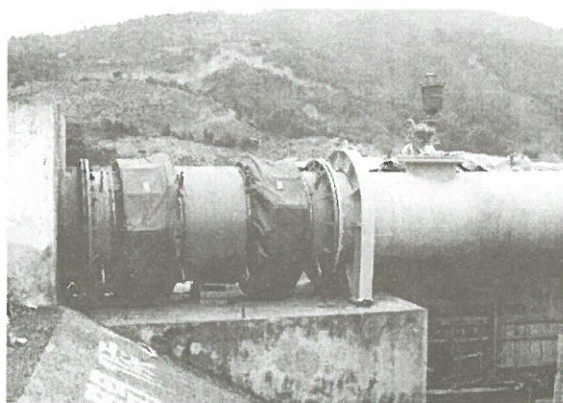


写真 3.1.7 右岸のドレッサージョイント
(余震の影響で若干変形し漏水している)

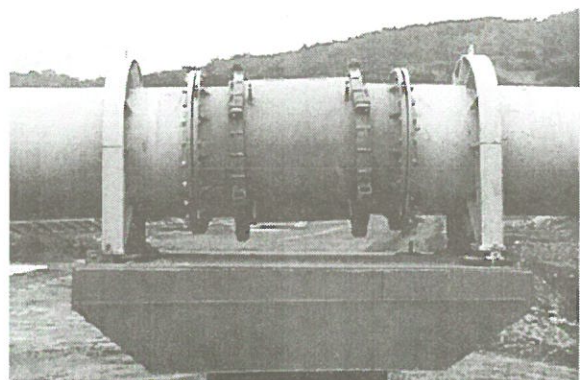


写真 3.1.8 調整用ライナーとドレッサー
(余震の影響で変形している)



写真 3.1.9 損傷した配水管

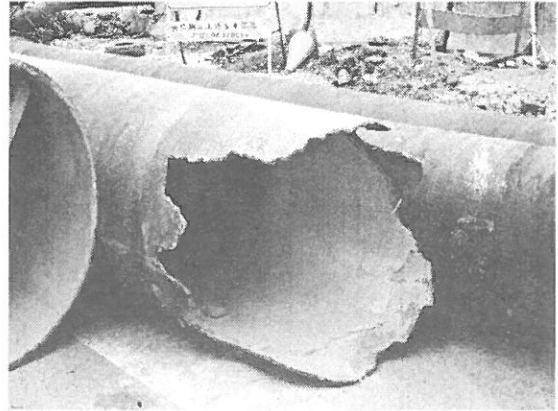


写真 3.1.10 損傷した配水管

(3) 石岡ダムの取水トンネル (台中県石岡郷)

石岡ダムを始点とする送水系統は、台中市に約 100 万人の給水人口を始め、台中県全体では約 200 万人の給水人口を抱えている。

石岡ダムの下流に位置する取水トンネル(図 3.1.4 参照)が、石岡ダムから 180m 下流で断層によって破壊された(写真 3.1.11、3.1.12 参照)。取水トンネルは鉛直軸が 4.1m で水平軸が 3.8m の馬蹄型断面で、被害地点における鉛直断層変位は約 4m 石岡ダム側が隆起しており、水平断層変位は右方向に 40~50cm であった。したがってこの取水トンネルは断層変位によって完全に分断され、送水機能を完全に失ったようである。破壊した送水トンネルの復旧工事では、上流側(石岡ダム側)ではトンネルの内面にレールを敷設して鋼管(内径 3400mm、管厚 30mm)を挿入し(写真 3.1.13、写真 3.1.14)、下流側ではトンネル内に貯めた水の浮力を利用して鋼管(内径 3000mm、管厚 20~24mm)を挿入した。また、断層変位によって発生した段差部には、工場製作のマイターバンド(全長 15m)を挿入した(写真 3.1.15、写真 3.1.16)。

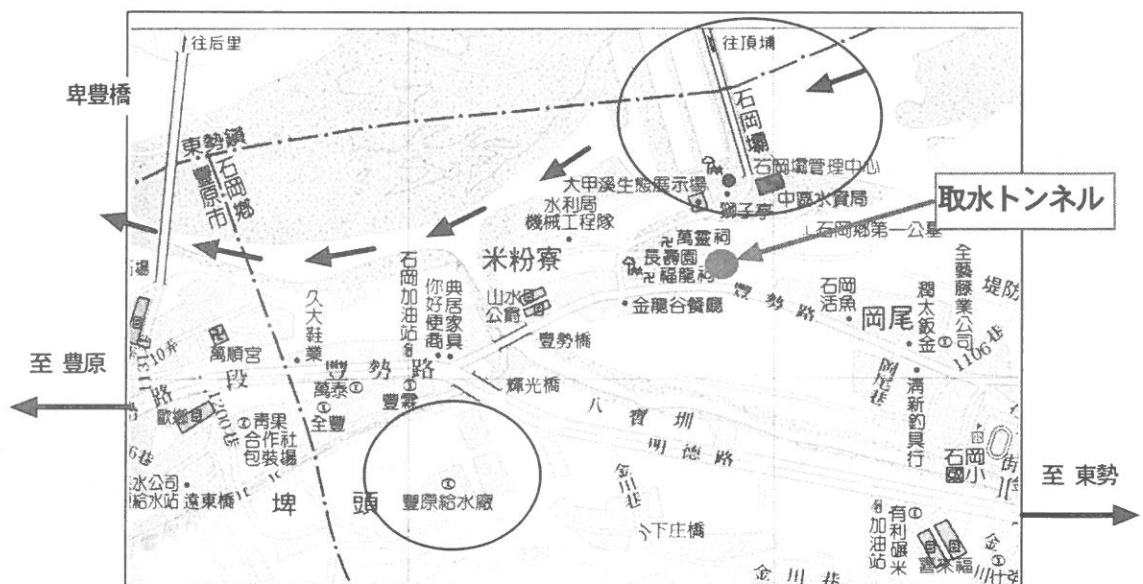


図 3.1.4 石岡ダム、取水トンネル、豐原給水駅の周辺



写真 3.1.11 取水トンネルの被害状況
(断層変位で破壊した下流側断面)
(写真：経済部石岡工務所簡報資料)

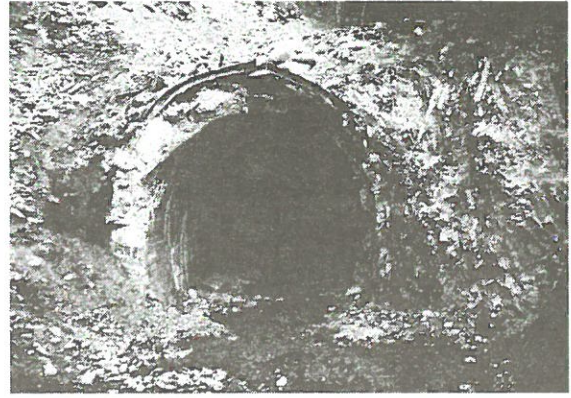


写真 3.1.12 取水トンネルの被害状況
(断層変位で破壊した上流側断面)
(写真：経済部石岡工務所簡報資料)

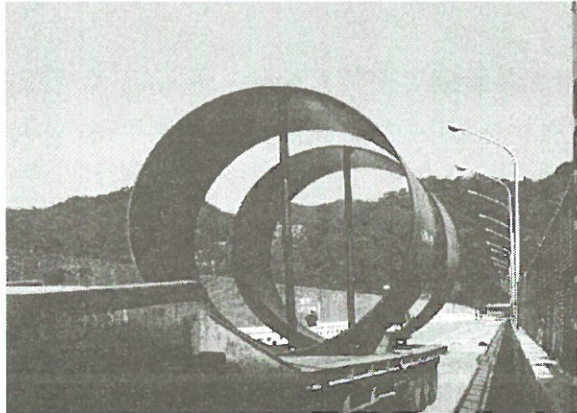


写真 3.1.13 取水トンネルの復旧用鋼管
(石岡ダムの堤頂に置かれている)

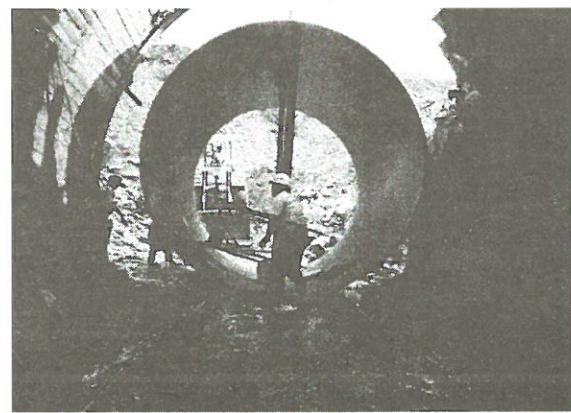


写真 3.1.14 取水トンネルの復旧状況
(鋼管をレールでトンネル内に挿入)
(写真：経済部石岡工務所簡報資料)



写真 3.1.15 取水トンネルの復旧状況
(右が石岡ダム側で4m 隆起)

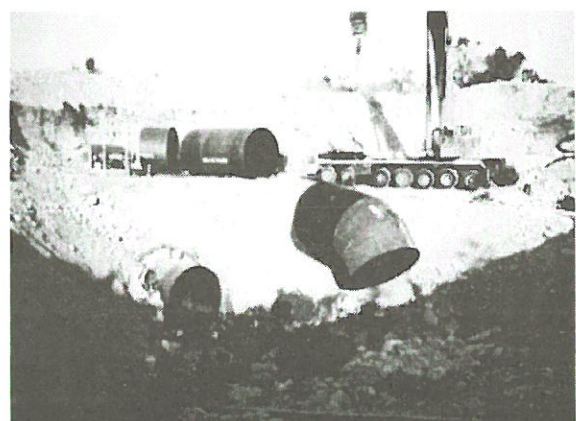


写真 3.1.16 取水トンネルの復旧状況
(断層部にマイターバンドを設置)

(4) 豊原給水站 (台中県石岡郷)

豊原給水站(図 3.1.4 参照)は第一および第二浄水場で構成されており、台中市および台中県の合計 200 万人に上水を供給している。最大給水能力は 100 万 ton/日である。豊原給水站の送水システムでは、口径 2000mm の管路には鋼管が使用されており、口径 1750mm、1500mm、1100mm の管路にはプレストレストコンクリート管、口径 400mm の管路にはダクタイル管が使用されているとのことである。第一浄水場の被害は大きかったが、第二浄水場は無被害であった。第一浄水場では、約 7m の断層変位によって口径 2000mm (管厚 17mm) と 1750mm (管厚 11mm) の 2 条の主送水管 (鋼管) に被害が発生した他、配水池が損傷を受けた。口径 2000mm の送水管の変形状況を写真 3.1.17 および写真 3.1.18 に示し、口径 1750mm の送水管の変形状況を写真 3.1.19 に示す。また、鑄鉄管の損傷状況を写真 3.1.20 に示す。

写真 3.1.17 および写真 3.1.18 に示すように、口径 2000mm の鋼管は約 7m の正断層によって大きな曲げ変形を受けたために断面が閉塞している。また、写真 3.1.19 に示すように、口径 1750mm の鋼管は切り合わせ部で曲げ変形を受けたために断面がやや閉塞している。写真 3.1.20 に示す鑄鉄管の被害状況は不明である。これら送水管の被害によって、調査時点における給水能力は約 58 万 ton/日にまで低下し、石岡と東勢の給水区域の約半分で断水したそうである。また、埔里・南投・竹山・水里などでも給水管の被害が発生した。また前項に示したように、石岡ダムからの送水トンネルが被害を受けたため、南側の旧水路から直接上水を供給しているそうである。この 2 条の主送水管の被害は約 1 週間で復旧したが、その他の復旧作業には約 2 週間を要したそうである。

被害を受けた 2 条の主送水管は 1.2~1.5m の土被りで敷設されており、断層による被害が発生したのは、第一浄水場から外部に通じる平坦な資材運搬通路下であった。写真 3.1.21 および写真 3.1.22 には復旧後の資材運搬通路の状況を示すが、復旧後の約 7m の断層は緩やかなスロープに変わっている。復旧された資材運搬通路のスロープをレーザー距離計と傾斜計で測量したところ断層の鉛直変位は 6.8m であった。この断層変位は、碑豊橋を經由して石岡ダムへと続いている。



写真 3.1.17 変形した口径 2000mm の送水管
(断層変位によって曲げ変形が発生)



写真 3.1.18 変形した口径 2000mm の送水管
(断層変位によって曲げ変形が発生)

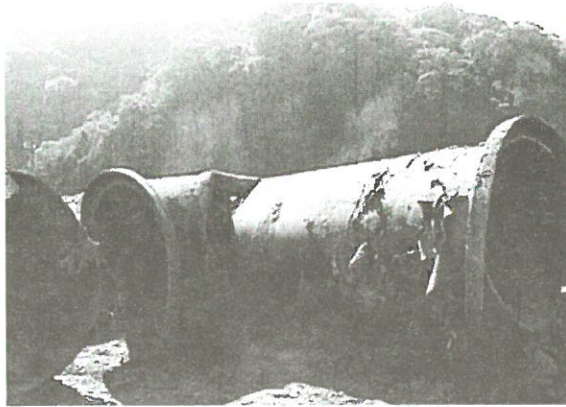


写真 3.1.19 変形した口径 1750mm の送水管
(断層変位によって曲げ変形が発生)

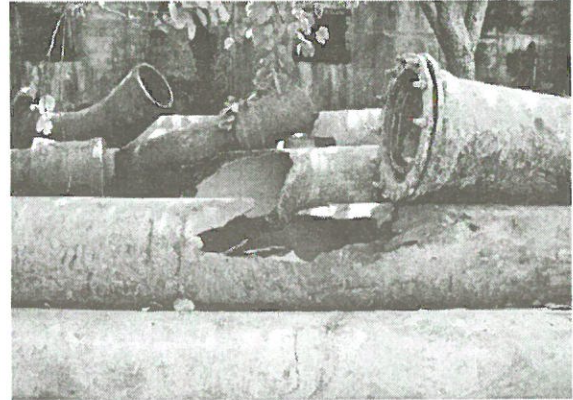


写真 3.1.20 損傷した配水管



写真 3.1.21 復旧した送水管の被害箇所
(第一浄水場の資材運搬通路)



写真 3.1.22 復旧した送水管の被害箇所
(第一浄水場の資材運搬通路)

(5) 萬崙橋の添架水道管 (彰化県員林鎮)

萬崙橋は、台北市の地震工程研究中心で頂いた「受損嚴重橋梁分布図」に記載された被害橋梁の一つで、員林大排水に架かる全長約 10m の 2 径間の小規模な道路橋(写真 3.1.23)である。写真に見られるように、萬崙橋の西側堤体の盛土が北側にずれており、橋脚は液状化によって傾斜している。また写真 3.1.24 に示すように、萬崙橋の北側に添架されている口径 75mm の水道管(鑄鉄管)の継手が屈曲して橋梁の変形を吸収しており、管体の損傷は認められない。

(6) 被害管路の復旧状況

調査時点において行われていた復旧作業を写真 3.1.25～3.1.28 に示すが、何れも被害状況は不明である。写真 3.1.25 は、豊原市街向陽路向陽加油站付近における水道管(呼び径 250mm の塩化ビニル管)の復旧作業で、土被りは 1.2m であった。周辺の地表面を観察する限りでは、地盤変状は発生していないようであった。写真 3.1.26 は、烏溪橋の南に位置する道德高専の

入口における水道管(呼び径 200mm の塩化ビニル管)の復旧工事である。写真 3.1.27 および写真 3.1.28 は配水管(呼び径 200mm の鑄鉄管)の復旧作業で、戦前に埋設された日本製とのことであった。ここでも、周辺の地盤を観察する限りでは、地盤変状は発生していないようであった。



写真 3.1.23 萬崙橋の全景
(液状化によって橋脚が傾斜している)

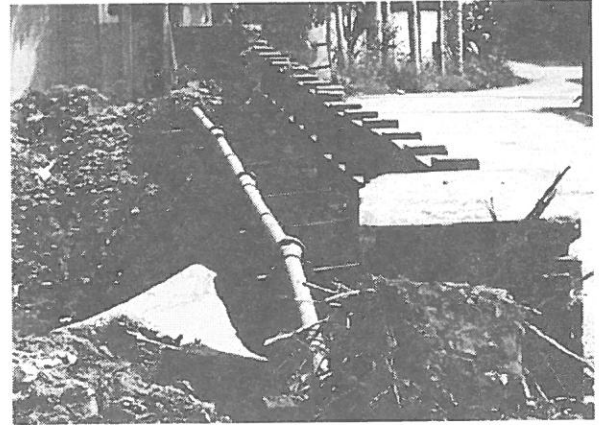


写真 3.1.24 萬崙橋の添架水道管
(継手が屈曲して変形を吸収している)



写真 3.1.25 水道管の復旧作業
(豊原市街：塩化ビニル管)



写真 3.1.26 水道管の復旧作業
(道徳高専入口：塩化ビニル管)



写真 3.1.27 水道管の復旧作業
(員林：鑄鉄管の継手部を切断)



写真 3.1.28 水道管の復旧作業
(員林：切断された鑄鉄管の継手部)

(7) 烏溪橋添架管の被害 (台中縣霧峰鄉～南投縣草屯鎮)

烏溪橋は烏溪に架かる国道3号線上の全長約500mの道路橋である。「烏」は「濁った」、「溪」は「小河川」という意味である。烏溪橋および周辺の地図を図3.1.5に示す。

写真3.1.29および写真3.1.30に示すように、烏溪新橋に添架されていた呼び径100mmと200mmのガス輸送導管に緩やかな曲げ変形が発生している。どちらのガス輸送導管にも漏洩に至る損傷は認められないが、呼び径200mmの輸送導管の方が曲げ変形の方が大きいようである。輸送導管のこのような曲げ変形は長柱モードの座屈によって発生したものであり、断層変位によって橋軸方向に圧縮変形を受けたためである。図3.1.30に示す添架サポートは、輸送導管が長柱座屈することによって発生した横方向反力に抵抗しきれずに変形したものと考えられる。また、添架されていた通信管路も写真3.1.31に示すように、ガス輸送導管と同様に長柱モードの座屈ために曲げ変形が発生している。

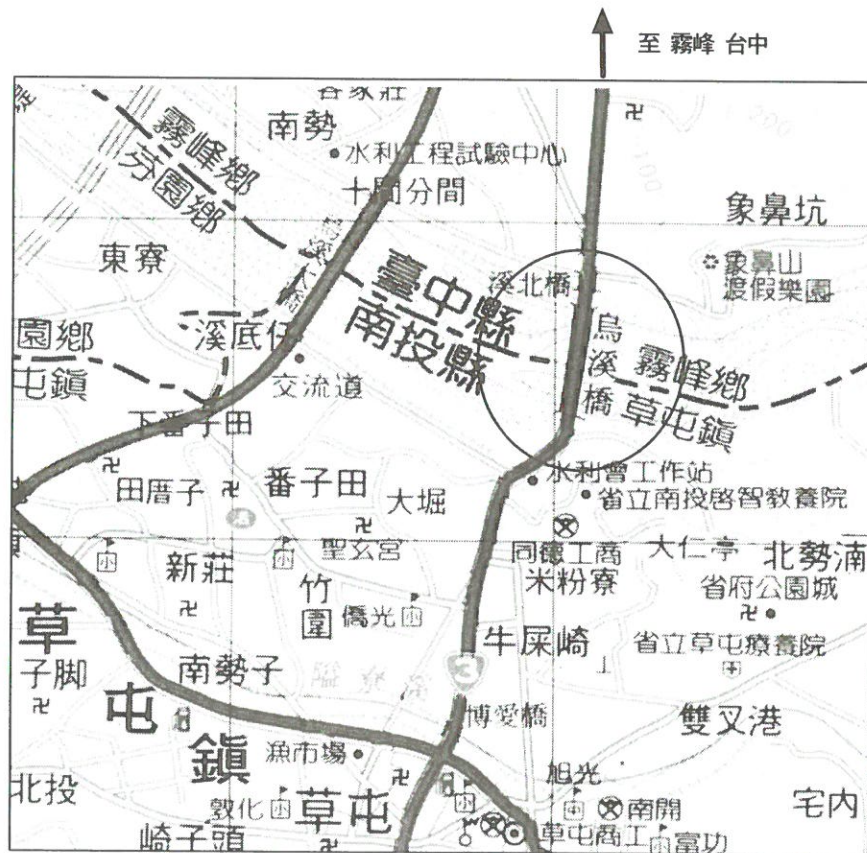


図3.1.5 烏溪橋の周辺

写真3.1.32および3.1.33には、烏溪旧橋の東側河川敷に発生した断層変位を示す。断層は右横ずれ断層で、右方向に約1m水平変位し、約1.5~2m隆起している。また、この断層は旧橋の北側橋台の東側に隣接する工場の方向に伸びており、断層変位によって工場の屋根には写真3.1.34のように段差が発生している。



写真 3.1.29 烏溪新橋添架管の変形
(添架ガス管：左から 150,200,100mm)
(添架通信管：8 条)

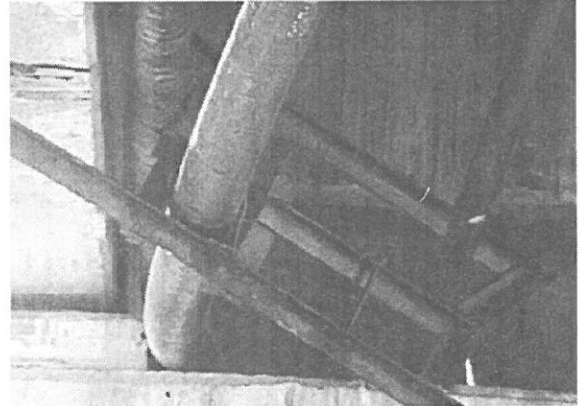


写真 3.1.30 烏溪新橋添架管の変形
(添架ガス管：150mm,200mm,150mm)
(200mm のガス管が最も大きく変形)

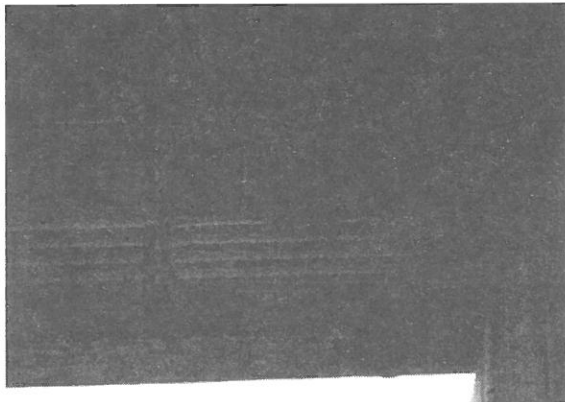


写真 3.1.31 烏溪新橋添架管の変形
(添架通信管の変形)

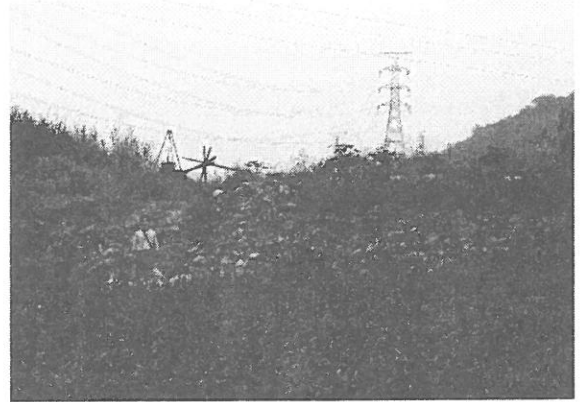


写真 3.1.32 烏溪橋東側の断層変位
(断層変位は約 2m)



写真 3.1.33 烏溪橋周辺の断層変位
(烏溪旧橋東側における断層変位)



写真 3.1.34 烏溪橋の北東に位置する工場
(断層によって屋根が変形)

(8) 埋設ガス輸送導管の被害(烏溪橋南側取付け道路)

烏溪橋南詰めから国道3号線を約200m南下した地点で、烏溪橋の添架管から延長している2条の埋設ガス輸送導管(呼び径100mm、200mm)に大きな屈曲変形が発生した(写真3.1.35、写真3.1.36:何れも中国石油提供)。呼び径100mmの輸送導管は1960年に敷設された管厚6mmのAPI 5L Gr.Bであり、口径200mmの導管は1989年に敷設された管厚9mmのAPI 5L X52(ERW)である。何れのガス輸送導管ともに裏波を有する健全な溶接継手で接合されており、曲げ変形は母材部で発生している。

写真3.1.35に示す呼び径100mmのガス輸送導管は、斜め下向きの山型形状を呈して屈曲変形しており、屈曲部分の断面は扁平している。一方、写真3.1.36に示す呼び径200mmのガス輸送導管は、Z型の屈曲変形が水平方向に発生しており、100mmの輸送導管と同様、屈曲部分の断面は扁平している。また両者ともに、屈曲変形によって軸方向に約1mの変形を吸収しているが、変形部分を挟んだ管軸のずれは200~300mm程度であり、断層変位の鉛直成分および水平成分は軸圧縮成分と比較してかなり小さいものと考えられる。

復旧後の被害地点の状況を写真3.1.37および写真3.1.38に示す。これらの写真で、舗装の色が変わっている短い斜面部分が被害地点である。また、当該地点の中央分離帯は圧縮変形によって破損したために部分的に撤去されているが、被害地点の両側の建物に大きな変形は認められない。中央分離帯の変形をさらに細かく観察すると、撤去された部分を挟んだ軸芯のずれは小さく、軸方向に約1m短縮していることが分かる。破壊された中央分離帯および舗装は既に撤去されているために、実際の断層変位量を知ることはできないが、当該地点で約1mの圧縮変位が発生している事実から、中央分離帯や舗装は1~1.5m程度はせり上がったものと推定される。

被害地点付近における断層変位を写真3.1.39および写真3.1.40に示す。写真3.1.39は被害地点の北西100mの地点における断層変位で、鉛直変位は約1.5mと推定されるが、水平変位成分については不明である。写真3.1.40は被害地点の南東約300mの地点における断層変位で、鉛直変位量は約2mであるが、被害地点と周辺の断層変位がこのように異なっている原因は不明である。

また、被害地点の亀裂発生個所からガス漏洩が発生したが、被災後直ちに上下流のバルブを遮断する安全措置がとられたため、ガス漏洩による火災等の二次災害は発生せず、人身・建物に対する被害は報告されていない。

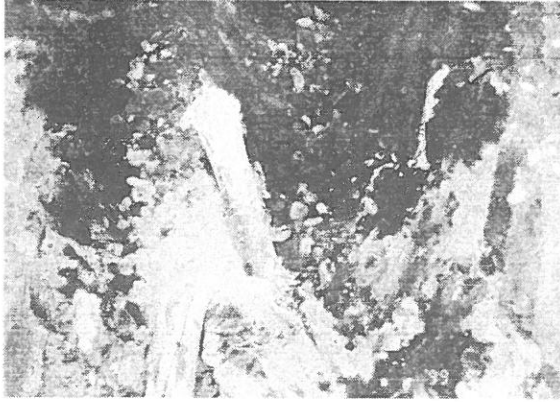


写真 3.1.35 ガス輸送導管の変形
(呼び径 100mm、管厚 6mm)
(写真提供：CPC(中国石油))



写真 3.1.36 ガス輸送導管の変形
(呼び径 200mm、管厚 9mm)
(写真提供：CPC(中国石油))



写真 3.1.37 ガス輸送導管の被害地点
(写真手前 200m に烏溪橋)



写真 3.1.38 ガス輸送導管の被害地点
(写真奥 200m が烏溪橋)



写真 3.1.39 被害地点付近の断層変位
(鉛直変位は約 1.5m)

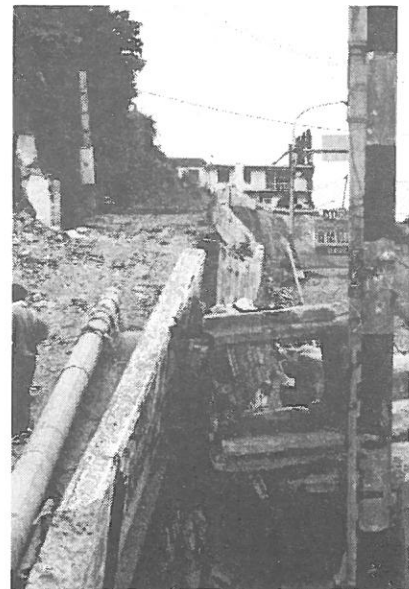


写真 3.1.40 被害地点付近の断層変位
(鉛直変位は約 2m)

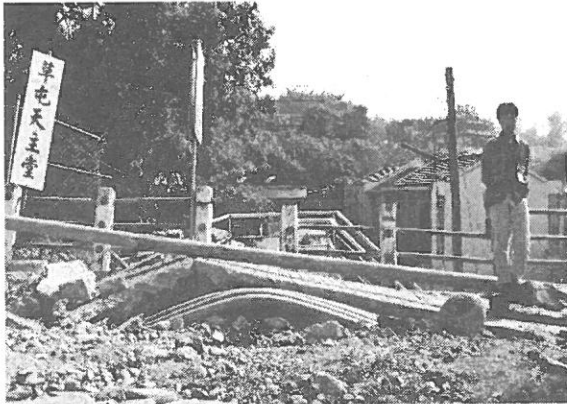


写真 3.1.41 変形した通信管路
(塩化ビニール製の口径 80mm の保護管)

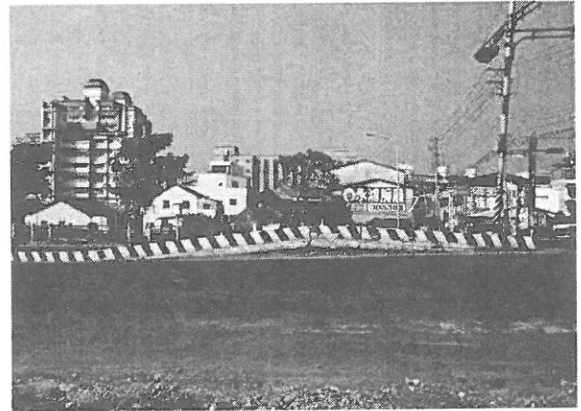


写真 3.1.42 中央分離帯の変形
(通信管路の被害地点と同一)



写真 3.1.43 通信管路の被害地点遠景
(草屯鎮公所正門から被害地点を望む)

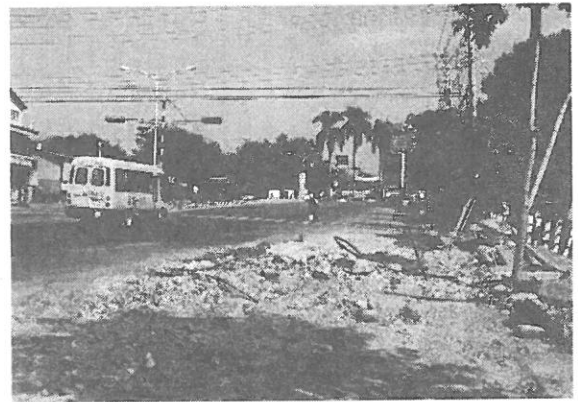


写真 3.1.44 通信管路の被害地点
(被害地点から草屯鎮公所正門を望む)



写真 3.1.45 鎮公所における断層変位
(断層変位は約 1.5m)



写真 3.1.46 鎮公所前道路の断層変位
(草屯鎮公所正門から望む)

3.1.2 鉄塔の被害

今回の地震による低地の鉄塔及びその被害状況は以下の様であった。

- ①調査した範囲では、鉄塔の基礎は、いずれも円筒形のケーソン基礎または四脚を繋いで一体化した基礎であった。田畑の中の鉄塔には四脚独立の基礎らしきもの（地中で連結しているかどうかは不明）が見られた。
- ②山岳地域の斜面部では非常に多くの被害が生じているとのことであったが、低地における被害はあまり見られず、目に付いた低地における被害はいずれも断層変位による被害であると思われる。
- ③液状化による鉄塔被害は見当たらなかった。

調査した鉄塔の個々の被害状況を以下に述べる。

(1) 霧峰の鉄塔被害

曲がり鉄塔ではないが、山側方向に 3° 傾斜しており、基礎から約 10m 離れた地点に断層によるとと思われる高さ 1.3m 程度の段差が生じていた（図-3.1.7. 及び写真-3.1.47, 図-3.1.48 参照）。

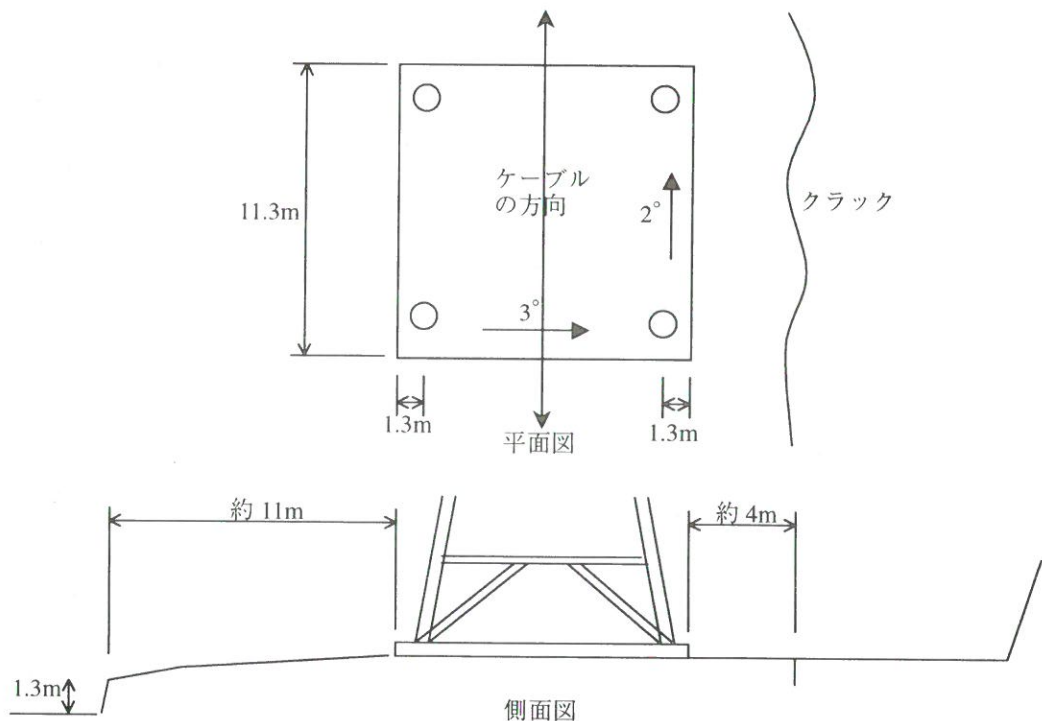


図-3.1.7 霧峰の鉄塔の被害

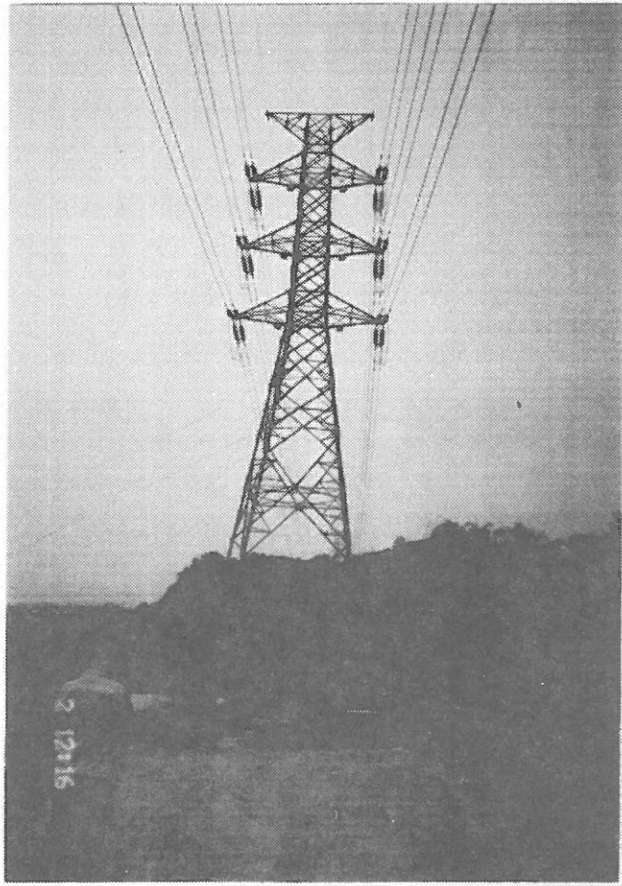


写真-3.1.47

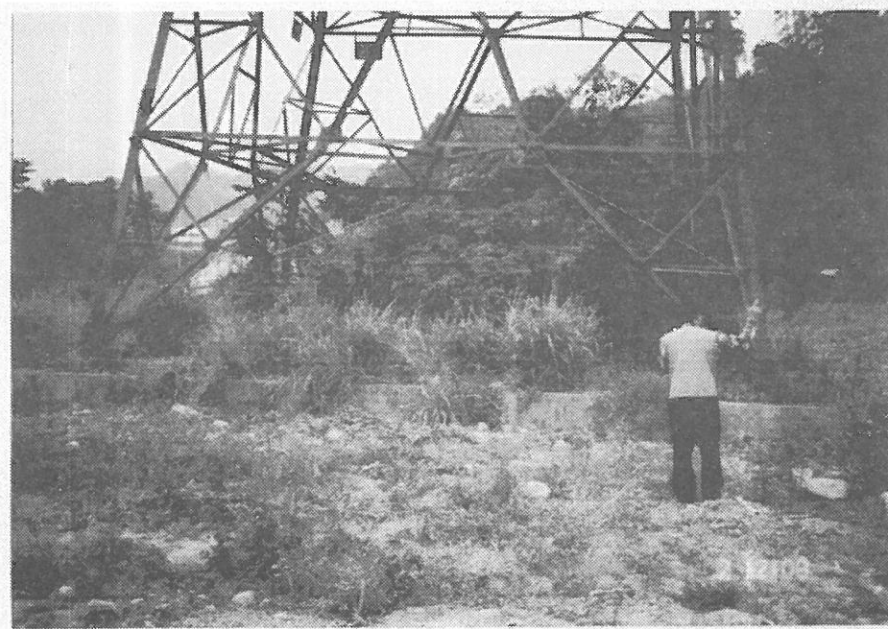


写真-3.1.48

(2) 鵜溪橋（草屯）近傍の霧峰－員林 008 鉄塔

この鉄塔は川岸にあり、基礎は直径約 5.5m の円筒形の RC の基礎 2 本（中心間隔 19.6m）から構成されていた。点検に来ていた台湾電力の職員によると、この基礎の床付けは GL-30m 程度とのことであった。

このような基礎にも係わらず、2つのケーソンの間には約 70cm のギャップ（換算すると $70/1960=1/28$ 傾斜）が生じ、ケーソン頭部の鉄筋が露出していた。これも、断層変位による被害と思われる（写真-3.1.49、写真-3.1.50）。

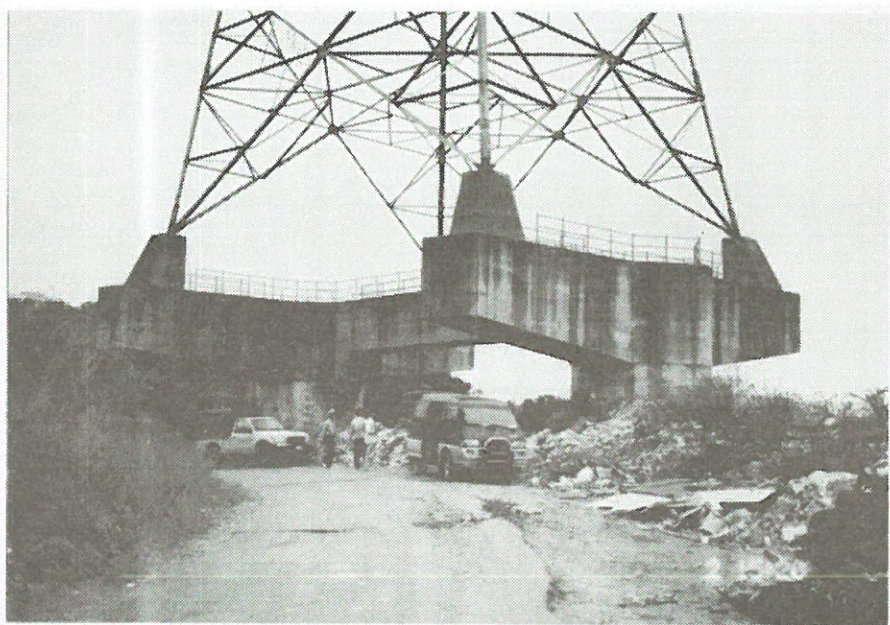


写真-3.1.1.49

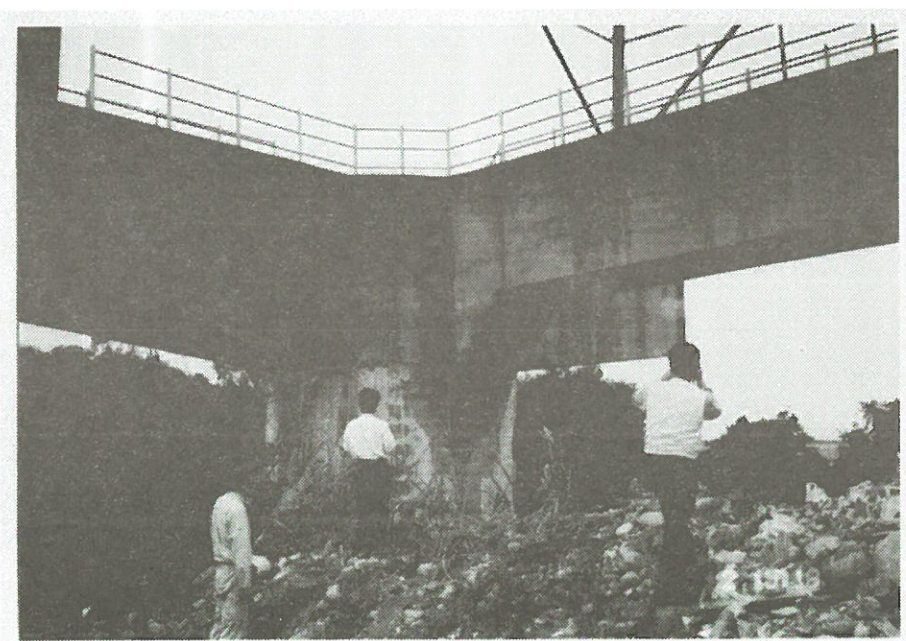


写真-3.1.50

(3) 名間の鉄塔

この鉄塔は山の斜面を下ってきたケーブルがほぼ直角に曲がる点に位置する曲がり鉄塔で、基礎は RC 円筒形の基礎である。鉄塔の位置が、丁度断層変位が地表に現れた地点にあり、上盤側から下盤側に向かって 13° 傾斜していた (図-3.1.8 及び写真-3.1.51, 写真-3.1.52)。

また、鉄塔から 40~50m 離れた地点の、断層を横切る線路が大きく蛇行し、断層近傍の上盤側で折れていたことから、この付近一帯が圧縮領域となっていたことがうかがえる (写真-3.1.53, 写真 3.1.54)。

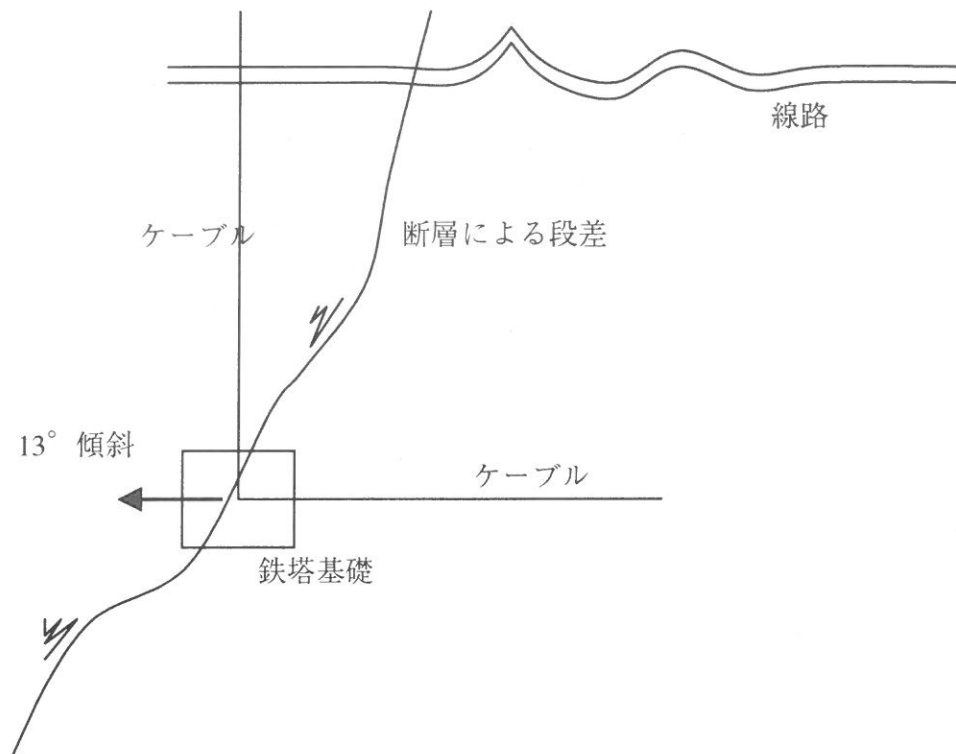


図-3.1.8 名間の鉄塔の被害

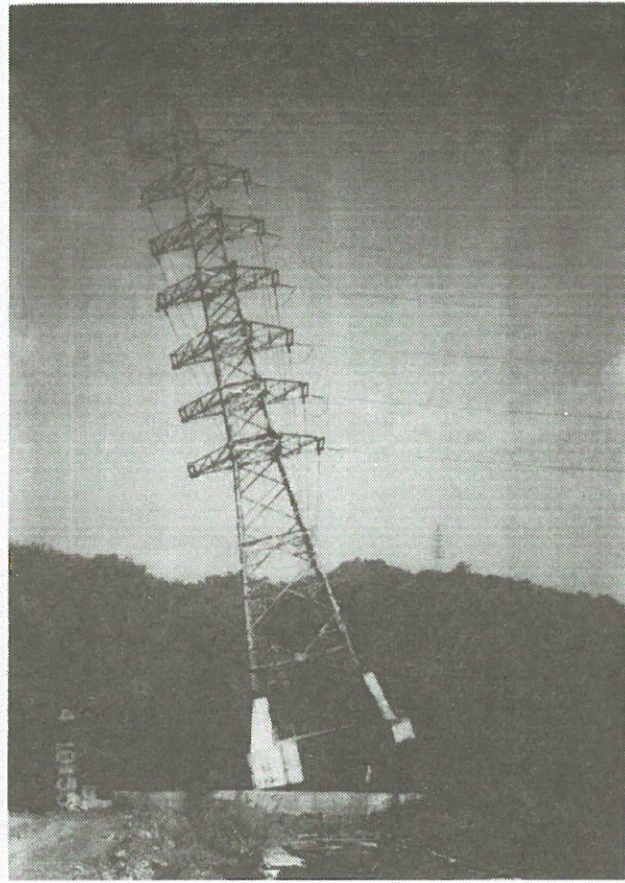


写真-3.1.51



写真-3.1.52

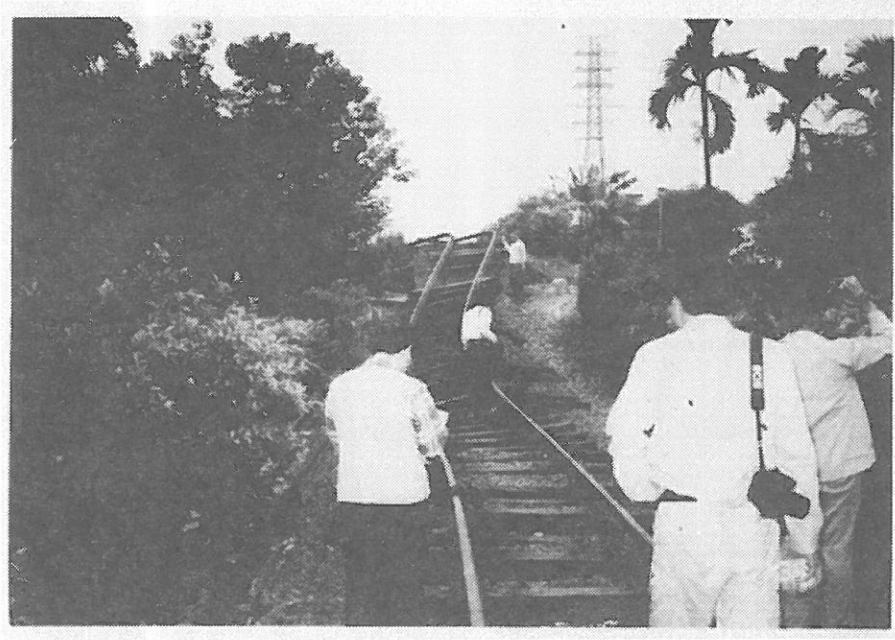


写真-3.1.53

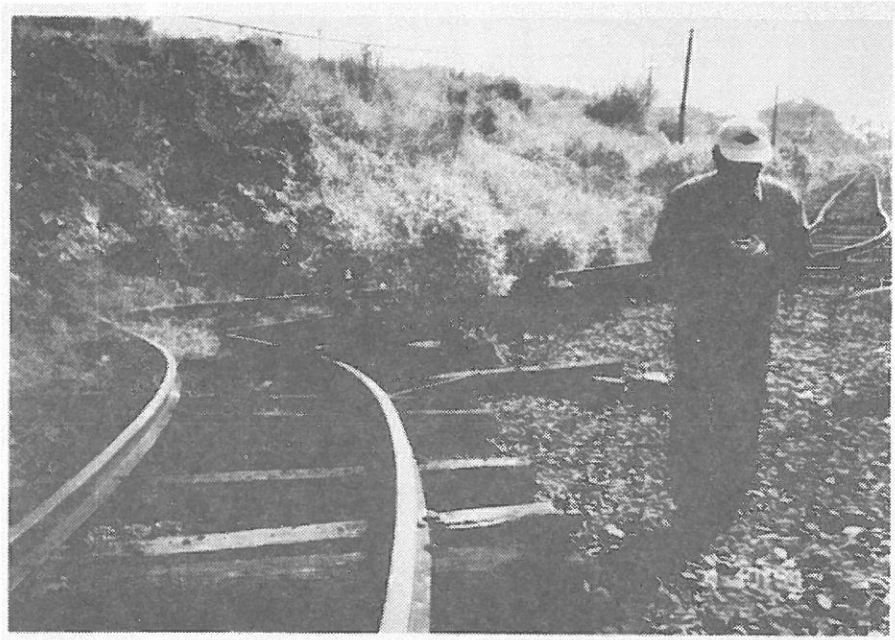


写真-3.1.54

(3) その他

その他、田畑の中のいくつかの鉄塔（4脚独立基礎の可能性有り）を視察した結果、目視で 0.5° ～ 1.5° 程度傾斜していると思われるものがあったが、ほとんど無被害であった（写真-3.1.55）。

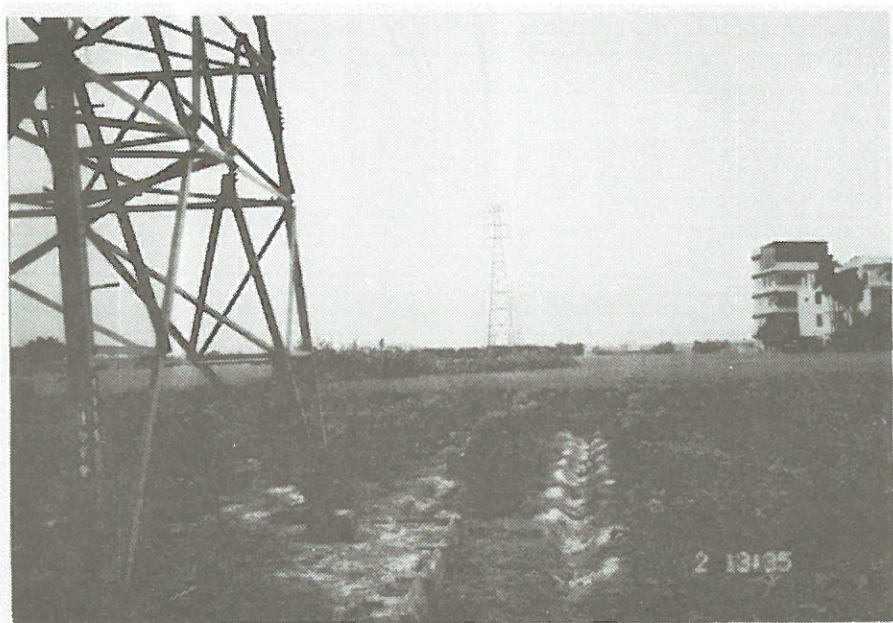


写真-3.1.55

3.2 橋梁の被害

3.2.1 概説 (地図 3.2.1-1、表 3.2.1-1~2)

全部で 11 の橋梁について被害調査を実施した。地図 3.2.1-1 および表 3.2.1-1 に、調査地点、調査日ならびに橋梁の概要などを示す。

表 3.2.1-1 調査した橋梁

	調査日	橋 梁	概 況
1	11 月 1 日	長庚大橋	橋長 200m、11 径間単純桁、RC 橋、桁幅 12m、2 車線
2	11 月 1 日	石圍橋	橋長 60 80m、3 径間単純桁橋、RC 橋、4 車線
3	11 月 1 日	東豊大橋	橋長 520m、19 径間単純桁橋、RC 橋、6 車線
4	11 月 2 日	一江橋	橋長 225m、19 径間単純桁橋、RC 橋、桁幅 9m、2 車線
5	11 月 2 日	烏溪橋	橋長 1100m (溪北橋を含む)、RC 桁橋、桁約 12m、片側 3 車線の 2 橋
6	11 月 2 日	中部第二高速公路	建設中の高速道路の高架橋
7	11 月 2 日	溪頭橋	橋長 240m、8 径間 RC 単純桁橋、径間長 30m
8	11 月 3 日	裨頭橋 (裨は土偏に卑が正しい漢字)	橋長 400m、13 径間単純桁 RC 橋、径間長 30m、幅員 10m
9	11 月 4 日	名竹大橋	橋長 600m、20 径間、RC 橋、4 車線
10	11 月 4 日	集鹿大橋	建設中の斜張橋、斜張橋部の橋長 200m、両側に 8 径間単純桁橋が接続、4 車線
11	11 月 5 日	軍功橋	橋長 290m、8 径間、6 車線

中村、大角の地震被害調査の速報^(3.2.1)では、台湾中部地区にある 754 橋の内、通行止めや速度制限を伴うほどの被害のあった橋梁は 10 橋で、補強の必要な橋梁は 30 橋であったと報告されている。(表 3.2.1-2)^(3.2.1)

ところで、本節で示す橋長や桁幅などの数値は、地図上での計測、あるいは現地での目測によるもので、正確な値ではない。また、本節で示した写真において、地盤工学会の地震被害調査団^(3.2.2)に同行した清水建設技術研究所の佐藤正義氏が撮影したもの、土木学会の地震被害報告書^(3.2.3)、あるいはその他の図書^(3.2.4)に記載されている写真を一部拝借させていただいた。記して深謝の意を表す次第である。

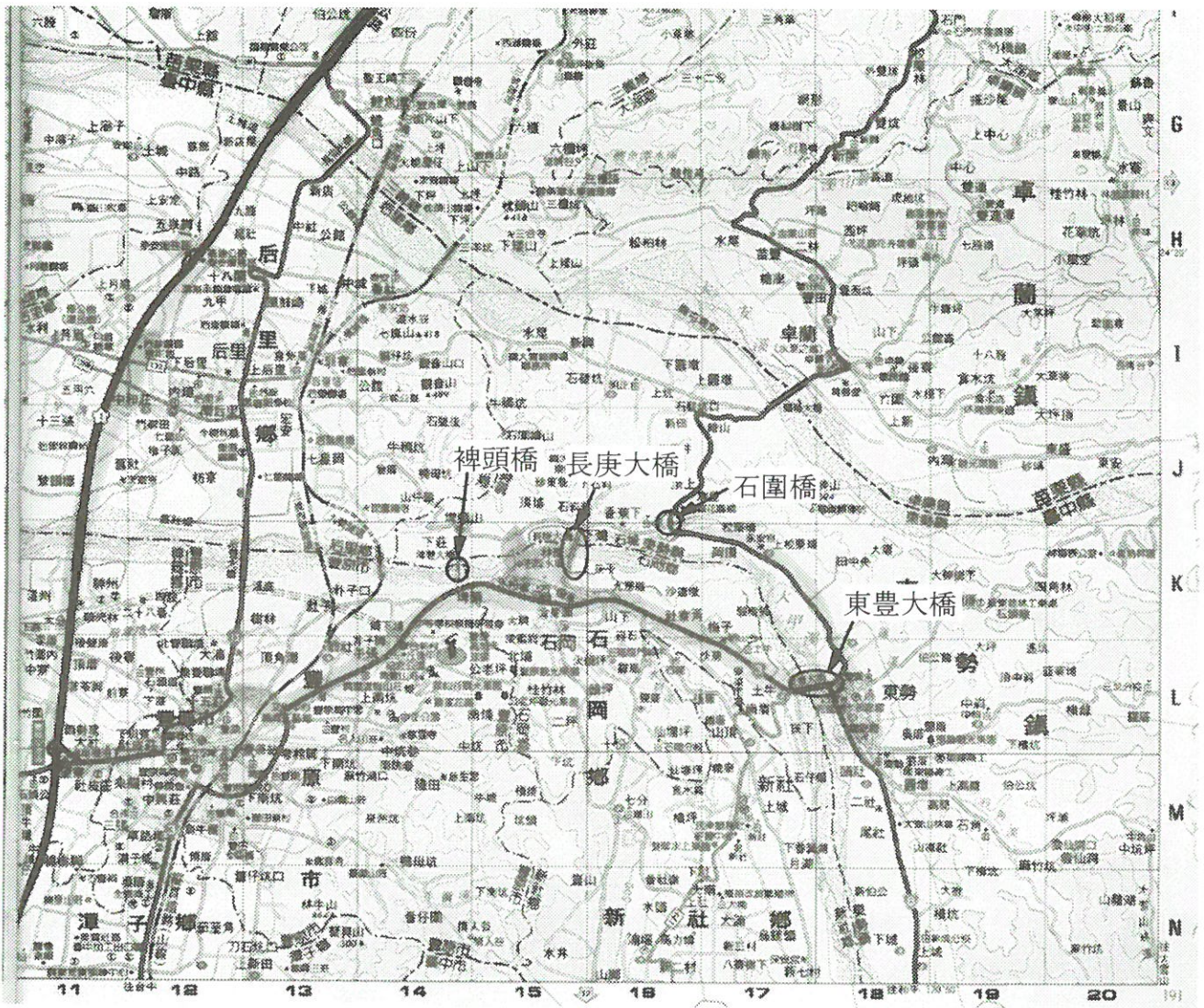


図3.2.1-1 (a) 橋梁の被害調査地点

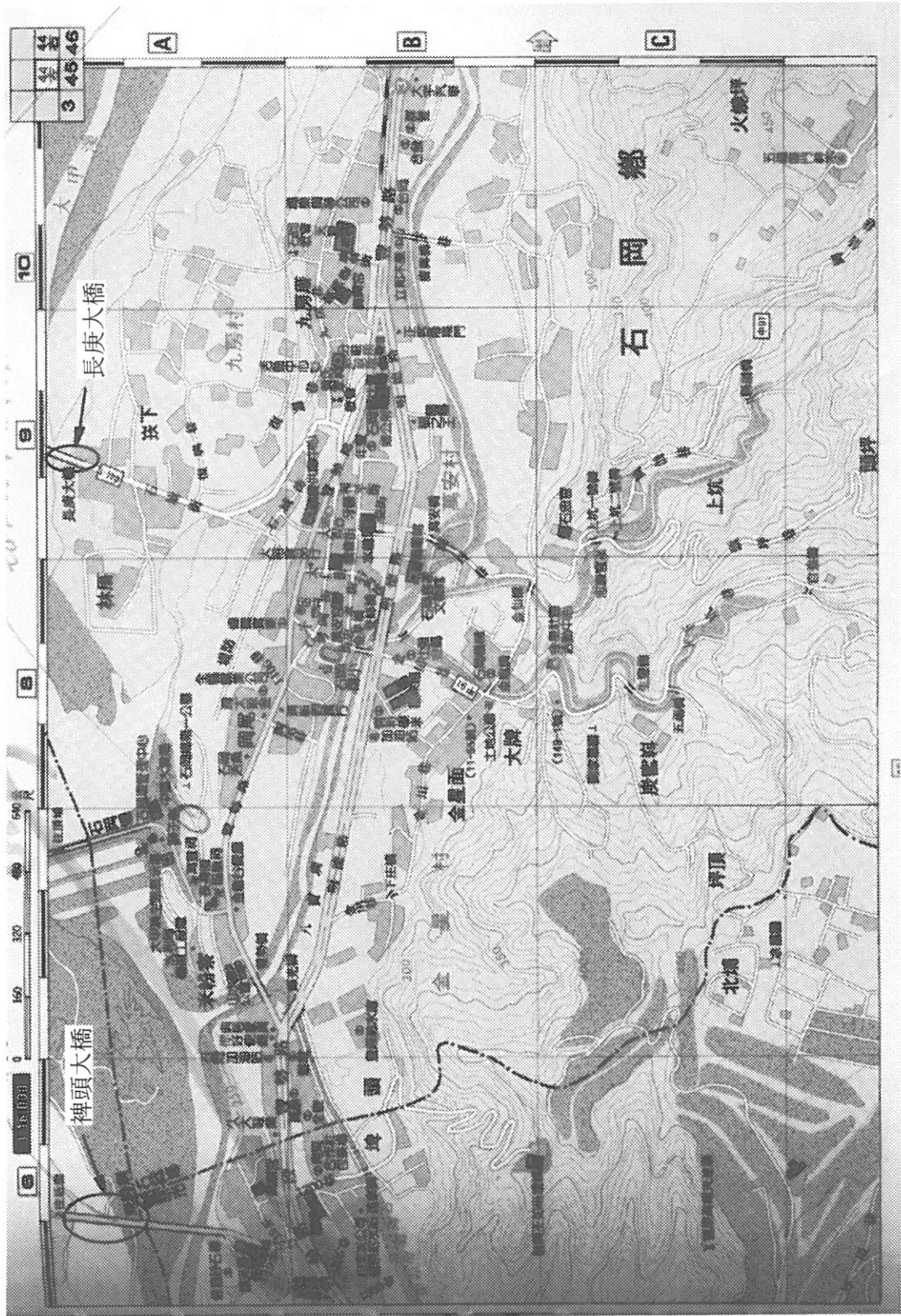


図3.2.1-1 (b) 橋梁の被害調査地点

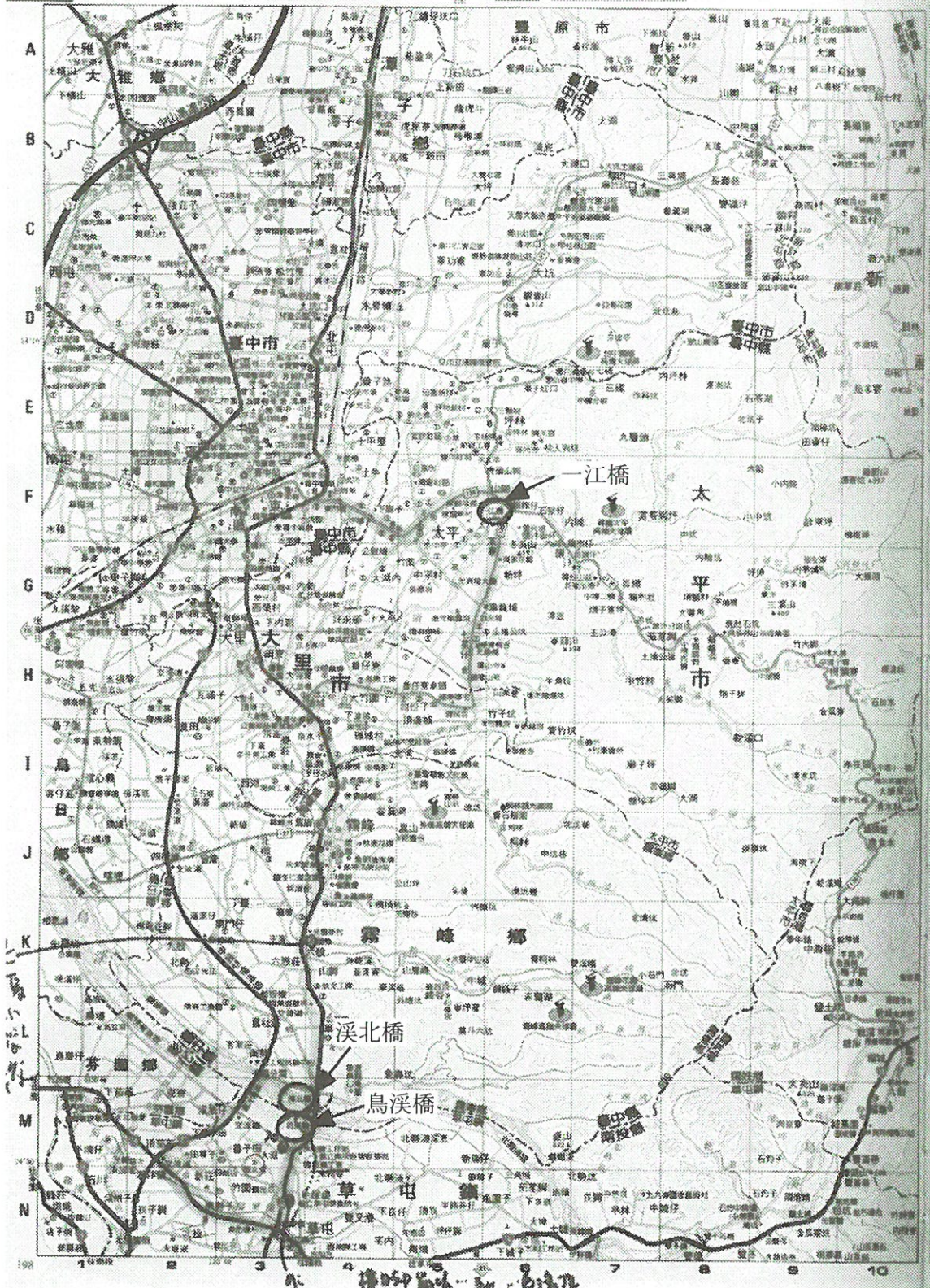


図3.2.1-1 (c) 橋梁の被害調査地点

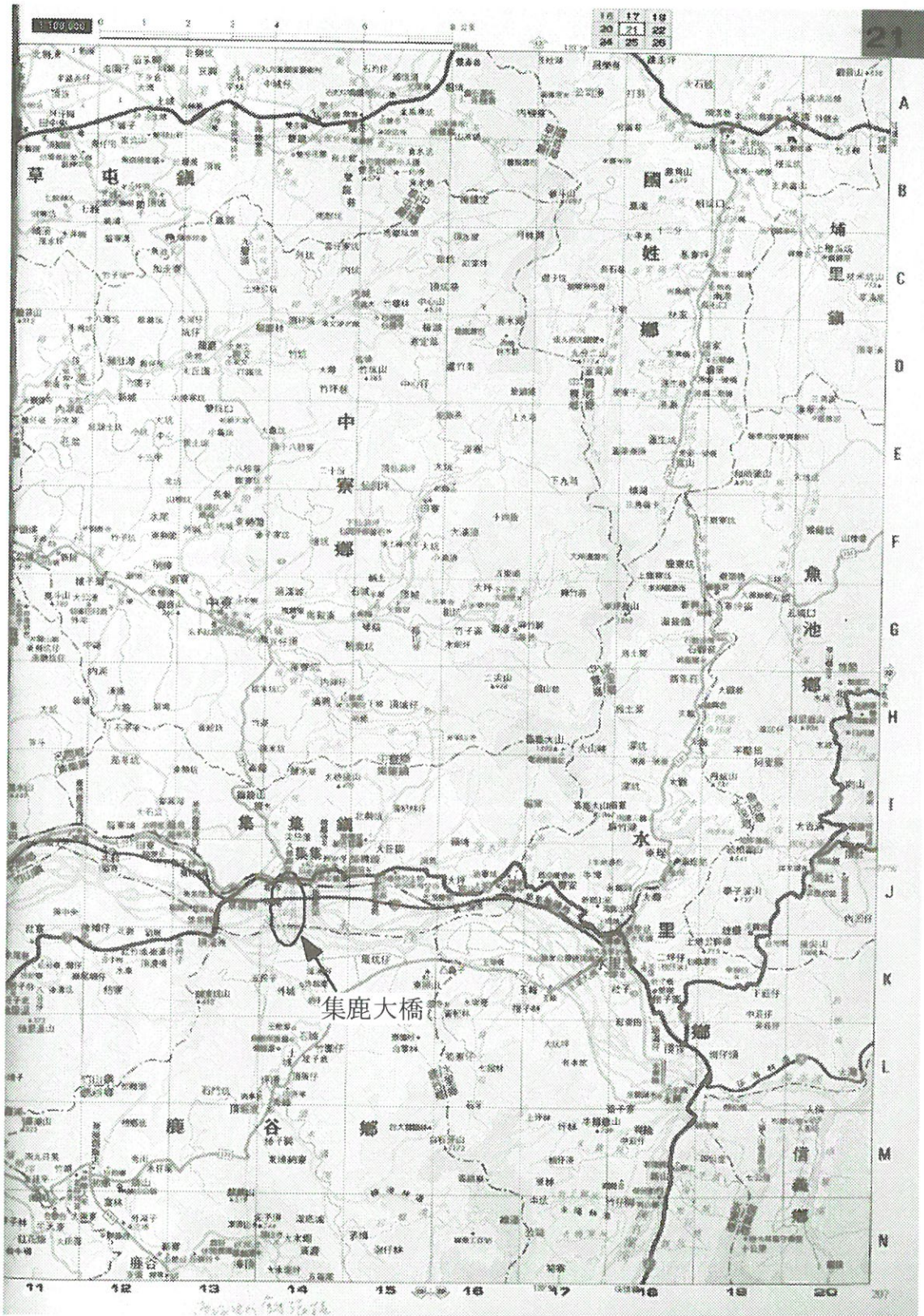


図3.2.1-1 (e) 橋梁の被害調査地点

表3.2.1-2 List of the Damage Bridges

River	Route	Name of Bridge	Structural Property	Outline of Damage
Da-an	Chung-san Highway	under construction	Simply-supported concrete girder	Slight bending-shear crack at the mid-height of the column
Da-jia	State Route 3	SHI-WEI Bridge (1994.9)	3-span simply-supported concrete girder, two adjacent bridges	Collapse of 3 girders and inclination of the columns (fault displacement)
	State Route 3	DONG-FON Bridge	Simply-supported concrete girder	Damage to RC columns, vertical gap on the road surface
	—	CHANG-GENG Bridge	Simply-supported concrete girder	Collapse of two spans (fault displacement)
	—	FON-SHI Bridge	4-span simply-supported concrete girder	Inclination of substructures, lateral gap between two adjacent girders
	—	BEI-FON Bridge (1991.1)	Simply-supported concrete girder	Collapse of 3 spans (fault displacement)
Tou-Bien-ken	Prefectural 136	II-JIANG Bridge	Simply-supported concrete girder	Collapse of 7 spans (fault displacement)
	—	The Water Pipe At Side of II-JIANG Bridge	Continuous Steel Pipe with Joints	Collapse of Pipes
Wu-shi	State Route 3	WU-SHI Bridge (1983.7)	Simply-supported concrete girder, two adjacent bridges	Collapse of two spans (one bridge), damage to RC columns and foundation (fault displacement)
	State Route 14	EN-FON Bridge (1984.1)	Simply-supported concrete girder	Lateral gap between adjacent girders, lateral displacement of capbeam of rigid frame column
	—	PING-LIN Bridge (1969.1)	Simply-supported concrete girder	Complete collapse of most of girders by collapse of RC columns
Mao-Luoh	State Route 3	MAO-LUOH-SHI Bridge	Steel girder	Inclination of deck at the eccentrically connected columns, damage to the top of RC columns
	State Route 14	LYU-MEI Bridge (1998)	Steel arch bridge	Damage to bearing, lateral displacement of deck, some liquefaction
	State Route 14	JUIN-GONG Bridge	8-spans simply-supported concrete girder	Slight damage to bearing and abutment
Juo-Suei-shi	State Route 3	MING-JUU Bridge	Simply-supported concrete girder, two adjacent bridges	Collapse of 7 spans?
	—	YON-SING Bridge	9 span Simply-supported concrete girder	Serious damage to columns, lateral gap between two adjacent girders, damage to abutment
	Central Expressway	JI-JI-DA Bridge under construction	Concrete Cable-stayed bridge	Damage to the bottom of tower, deck and rigid frame column
Don-Puu-na	State Route 3	YEN-PIN Bridge (1986.2)	6 span simply-supported concrete girder	Damage of connecting embankment (fault)
	—	TONG-TOU Bridge		
	—	LIN-WEI Bridge		
	—	LON-CHUEN Bridge		
	State Route 16	Ji Ji area	3 span concrete frame bridge	Slight damage at the bearing
—	Prefectural 149	TONG-TOU Bridge	4 span concrete girder bridge	Collapse

3.2.2 長庚大橋 (写真 3.2.2-1~4)

長庚大橋 (写真 3.2.2-1) は、石岡堰から東に直線距離で 1km の地点にあり、石岡堰と同じ河川 (大甲溪) に架かる橋 (2 車線、RC 橋、11 径間単純桁、桁幅 12m、橋長約 200m) である (地図 3.2.1-1(a)(b)参照)。

橋脚は楕円形の RC 製で、直径 (長手方向) は約 5m である。被害は橋軸の直交方向に断層が出現したことで、南側 (石岡側) の 2 つの桁が落ちた (写真 3.2.2-2)。通行が不能になり、調査の時点では仮橋が通されていた (写真 3.2.2-3)。

落橋した桁の断面を見ると、本橋は 5 つの主桁 (縦桁) を有し、支承はゴム支承である (写真 3.2.2-4)。支承部の破損状況から、橋軸直角方向には大きな力は作用しておらず、橋脚が橋軸方向に動いたことが落橋の直接的な原因と考えられる。

桁の落橋のパターンは、後で述べる石圍橋、あるいは裨頭橋 (裨は土偏に卑が正しい漢字) と同じで、南側の地盤が隆起したことで説明ができる。しかも、その動きはゆっくりした動きであったことが、支承部のストッパーが大きく破壊していないことから推察できる。

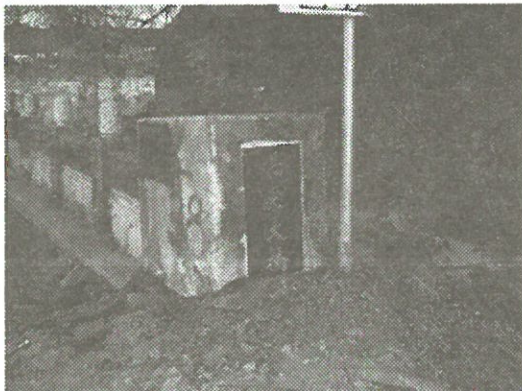


写真 3.2.2-1 長庚大橋 (石岡堰から東に 1km の地点に架かる 11 径間単純桁橋)

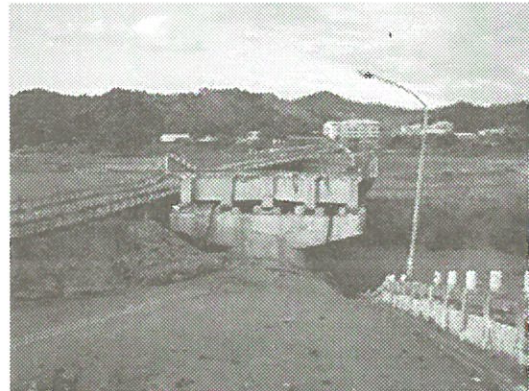


写真 3.2.2-2 長庚大橋 (南側の 2 つの桁が落橋)



写真 3.2.2-3 長庚大橋 (仮橋が架けられていた)



写真 3.2.2-4 長庚大橋 (5 主桁、ゴム支承、支承部のストッパーの損傷の程度は激しくない)

3.2.3 石圍橋 (写真 3.2.3-1~4)

石圍橋は、3号線を東勢から北に車で10分ほど走った地点にあり、沙蓮溪という川に架かる橋である。位置的には、裨頭橋、石岡堰、長庚大橋、石圍橋は、東西にほぼ一列に並んでいる(地図3.2.1-1(a)参照)。

橋梁はRC製で、3径間の単純桁橋(写真3.2.3-1)であり、橋長は60~80mである。橋脚はRCの楕円形断面で、長手方向の直径は3~4mである。主桁は5本(写真3.2.3-2)。2橋が並んで架かっており、車線は片側2車線で計4車線の道路橋であり、竣工は1994年9月である。

南側(東勢側)の桁が2橋とも落橋し(写真3.2.3-3)、さらに一方の東勢方面に向かう橋の中央の桁が落橋している。断層が石岡堰から連続していると仮定し、東勢側がその反対の卓蘭側より大きく隆起したとすると、卓蘭側の桁が先に落ちるといふ被災パターンは説明が付く。固定支承である卓蘭側の橋台の背面に斜めクラックが発生していたが、落橋の原因となるほどのクラックではない(写真3.2.3-4)。



写真 3.2.3-1 石圍橋(東勢から3号線を北に車で10分ほどの地点に架かる3径間単純桁橋:写真提供佐藤氏)



写真 3.2.3-2 石圍橋(主桁は5本:写真提供佐藤氏)



写真 3.2.3-3 石圍橋(東勢側の桁が2橋とも落橋:写真提供佐藤氏)

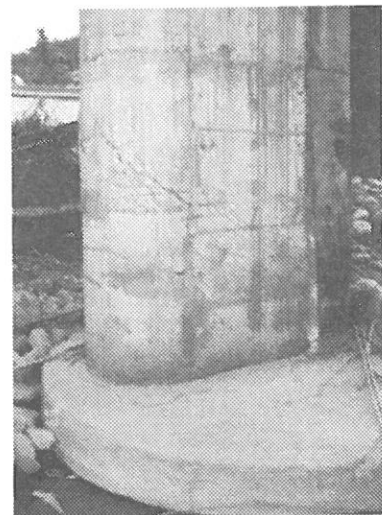


写真 3.2.3-4 石圍橋(橋脚にクラック)

3.2.4 東豊大橋 (写真 3.2.4-1~4)

東豊大橋 (地図 3.2.1-1(a)参照) は、豊原から東勢の入り口に架かる RC 橋で、19 径間の単純桁橋である (写真 3.2.4-1)。橋長は地図上の計測から 520m と推定される。上下 6 車線。東勢側の橋台部で桁掛かりの境界部でクラックが見られたが、橋の耐震性を脅かすほどのものではない (写真 3.2.4-2)。また、桁部に縦亀裂の被害が生じていた (写真 3.2.4-3)。すべてではないが、橋脚の基部に鉄筋が露出するせん断亀裂の被害が発生したが (写真 3.2.4-4)、我々の被害調査の時点では、橋脚にコンクリートによる巻き立て補強が完了していた。

東豊大橋の被災は断層変位ではなく、強震動によるものと考えられる。このことから、断層運動によって被災したものを除けば、ほとんどの橋梁は強震動に耐え、補修可能な被害で済んだと言える。

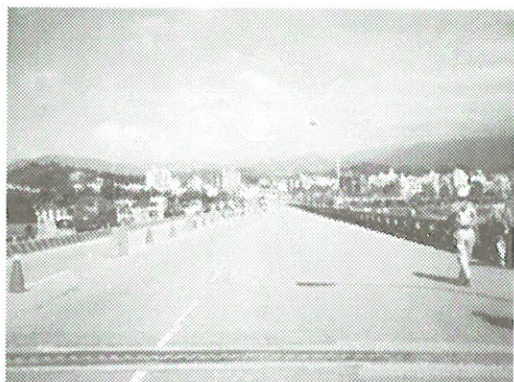


写真 3.2.4-1 東豊大橋 (東勢の入り口に架かる 19 径間の単純桁橋 RC 橋 : 写真提供佐藤氏)

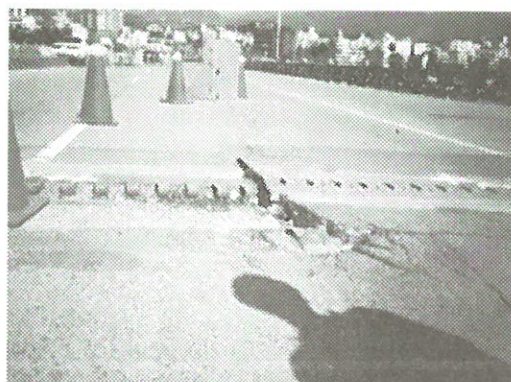


写真 3.2.4-2 東豊大橋 (桁掛りの境界部にクラックの被害 : 写真提供佐藤氏)



写真 3.2.4-3 東豊大橋 (桁部に縦亀裂が見られた : 写真提供佐藤氏)

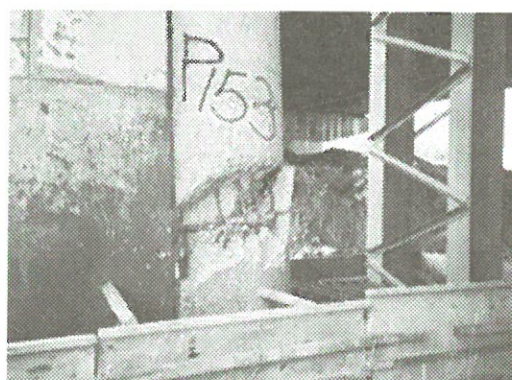


写真 3.2.4-4 東豊大橋 (橋脚の基部に甚大なせん断亀裂が生じていた : 写真提供佐藤氏)

3.2.5 一江橋 (写真 3.2.5-1~10)

一江橋 (地図 3.2.1-1(c)参照) は、台中から東平路 (県道 136 号) を車で東に 20 分ほど走った地点にある。太平市の頭汁坑溪 (汁の文字は似ているが正しくない) に架かる橋長 225m (地図上で計測) の 19 径間の RC 単純桁橋である (写真 3.2.5-1)。桁長は 11~12m、幅員は 9m の 2 車線である。

落橋した一江橋に並行して、拡幅のための新橋が建設されようとしており、新橋の橋脚が完成に近い状態であった (写真 3.2.5-2~3)。落橋したのは 19 径間中の台中側 (北西側) の 9 径間である。橋脚は RC の壁式橋脚で、2 つの橋脚は完全に崩壊した (写真 3.2.5-4)。橋脚の高さは 7~8m。被災の原因は明らかに断層変位によるものである。一江橋を挟んで、両側にある新設橋脚のそれぞれの高さを比較すると、台中側から数えて 3 番目の橋脚は相対的に 1m ほど高くなっていた。一江橋の落橋はその被災パターンから、この地点が最初に隆起したことがきっかけとなって生じたように見受けられる。



写真 3.2.5-1 一江橋 (台中から県道 136 号を東に車で 20 分ほどの地点に架かる 19 径間 RC 単純桁橋)



写真 3.2.5-2 一江橋 (新橋の橋脚が建設中であった)

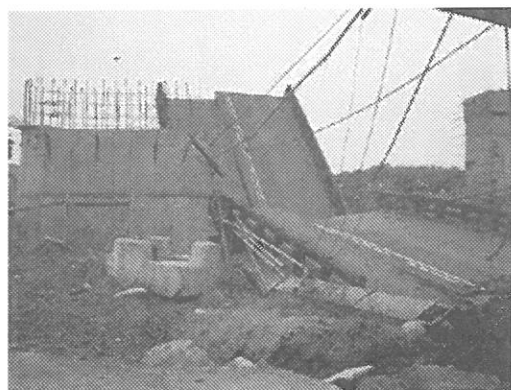


写真 3.2.5-3 一江橋 (台中側から数えて 3 番目の橋脚 (写真右) が相対的に 1m ほど高くなっていた)



写真 3.2.5-4 一江橋 (2 つの橋脚は完全に崩壊)

一江橋の橋軸の方位は北西-南東であるのに対し、断層は北東-南西の向きであり、橋軸と断層はほぼ直交している。一江橋のセンターラインを太平市側から眺めると、断層変位による地盤の動きの様子が分かり、上下、水平ともに 2~3m の相対変位が確認できる (写真 3.2.5-5)。住民の話によると、一江橋の北側約 1km 離れた地点の河床部が大きく盛り上がり、その隆起高さは 5m 以上と推察される。

一江橋の左岸側にある釣り堀は、水が抜けて空になっていた。また、左岸側には 4~5m の高さの断層が露呈しており、新築の 3 階建ての住宅が大きく傾斜していた (写真 3.2.5-6)。しかし、建物に大きな亀裂は見受けられず、地盤のゆっくりとした動きで建物が傾斜したものと考えられる。また、隆起した断層上盤に数本の電柱があったが、それらはいずれもわずかに傾斜した程度であった (写真 3.2.5-7)。また、断層下盤にある建物には、目立った被害は認められなかった。



写真 3.2.5-5 一江橋 (太平市側から見たもので、上下、水平に 2~3m の相対変位が見られる)



写真 3.2.5-6 一江橋 (左岸側にある建物が断層変位により大きく傾斜)

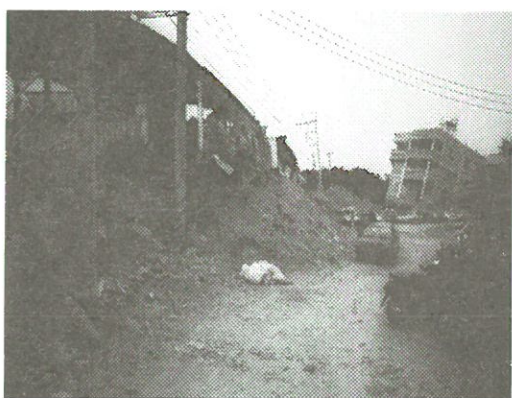


写真 3.2.5-7 一江橋 (断層上盤の電柱はわずかに傾斜しただけ)



写真 3.2.5-8 一江橋 (一江橋と並行して建設されていた水道管橋は管路が脱落) (3.2.3)

一江橋の北側に、一江橋と並行して水道用の水管橋が建設されていたが、地震によって管路は脱落した（写真 3.2.5-8）。しかし、11月2日の被害調査時点では完全に修復され、供用されていた（TBS テレビの「緊急報道スペシャル：台湾大地震」の映像で被害を確認）。この水道管の復旧は地震後かなり早い時期（少なくとも19日以内）に行われたようで、そのスピードに驚かされた。一江橋の太平市側に、破損した水道管（铸铁管、鋼管）が置かれていた（写真 3.2.5-9～10）。

また、200mほど上流の左岸側には地盤が液状化した形跡があり、それに伴う堤防の陥没が見られた（写真 3.2.5-11）。地盤の液状化が橋梁の被害に及ぼした影響はほとんどないと考えられる。

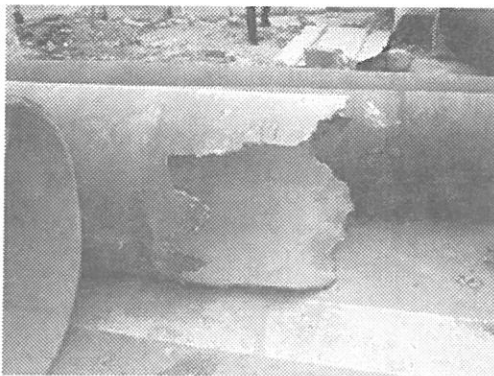


写真 3.2.5-9 一江橋（破壊した铸铁製水道管）

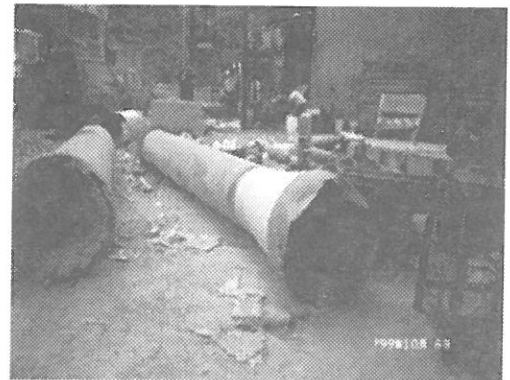


写真 3.2.5-10 一江橋（破壊した水道用鋼管：写真提供佐藤氏）

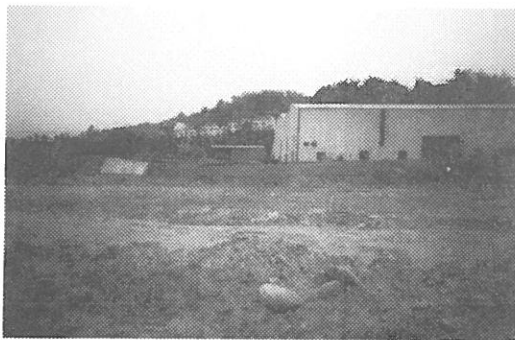


写真 3.2.5-11 一江橋（液状化に伴う堤防の陥没）

3.2.6 烏溪橋（写真 3.2.6-1～7）

烏溪橋（写真 3.2.6-1）は台中県霧峰郷と南投県草屯鎮の県境を流れる河川、烏溪に架かる省道 3 号線上の橋梁で、橋長が 1100m（溪北橋も含み地図上で計測）の RC 単純桁橋である（地図 3.2.1-1(c) 参照）。幅員が 12m ほどで、片側 3 車線の橋梁が 2 橋並行して建設されている（写真 3.2.6-2）。破損した橋脚の配筋状態の違いから、

建設年代が違うことが分かる。東側（上り車線：霧峰方面に向かう側）が旧道（竣工は1983年7月）で、西側（下り車線）が新道であり、両方向とも通行止めの状態であった。

主桁は5本である。橋軸方向はほぼ南北方向に一致している。上り線の橋梁の霧峰側の2つの橋桁が連続して落橋した（写真3.2.6-3）。落橋の原因は、明らかに橋梁にほぼ直交して走った断層変位によるものである（写真3.2.6-4）。河床で観察された断層の段差は上下に2~3m、水平に1~1.5mであった（写真3.2.6-5）。

下り線の橋は落橋を免れたが、霧峰側の2つの橋脚が完全にせん断破壊している（写真3.2.6-6）。その他にもせん断破壊した橋脚があると報告されているが、川の水量が多く、それらすべてを確認することはできなかった。

橋脚の形状は上下線で異なっており、上り線は大断面の壁式橋脚で楕円型、その大きさは8.5m×3mである。一方、下り線は梁出し部を有するT型橋脚で、橋脚の断面は5m×2m楕円型である。いずれも橋脚の高さは10mほどである。上り線の楕円型の橋脚は一部で輪切り状態で破壊している（写真3.2.6-7）。驚くことに約10mmの丸鋼が主筋として用いられているだけで、無筋コンクリートの状態でコンクリートの打ち継ぎ目で引っ張り破壊している。下り線の橋脚は、川島らのレポート^(3.2.5)では、D22が主筋として32本、D12が帯鉄筋として200mm間隔で配筋されていたと報告されている。

烏溪橋の西側隣に架かる63号線の烏溪大橋（橋長1km）を經由して、烏溪橋の草屯側に行くと、明らかに断層の隆起によって生じた地盤の2~3mの段差を確認することができた。

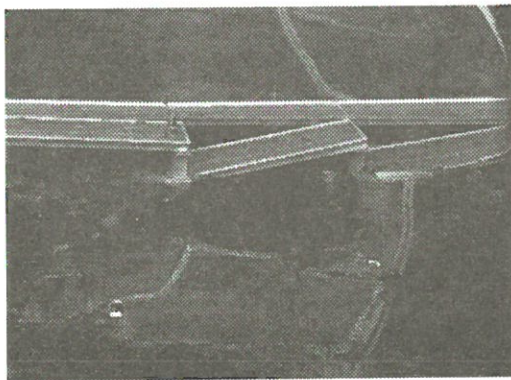


写真3.2.6-1 烏溪橋（125号線で霧峰を通り、3号線を南下した地点にある橋長1100mのRC桁橋）^(3.2.4)



写真3.2.6-2 烏溪橋（上り線の霧峰側の2つの桁が落橋）



写真 3. 2. 6-3 烏溪橋 (写真提供佐藤氏)



写真 3. 2. 6-4 烏溪橋 (河床の断層変位)

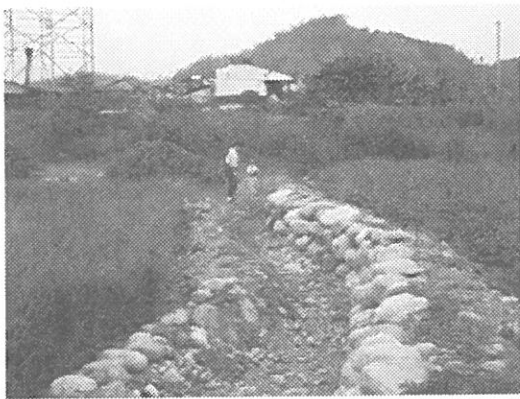


写真 3. 2. 6-5 烏溪橋 (河床の断層変位)

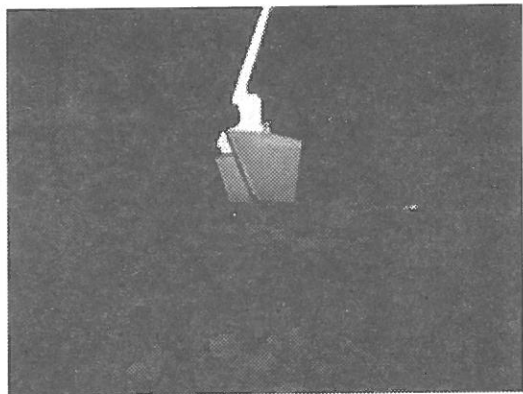


写真 3. 2. 6-6 烏溪橋 (上下線の橋脚の被害)

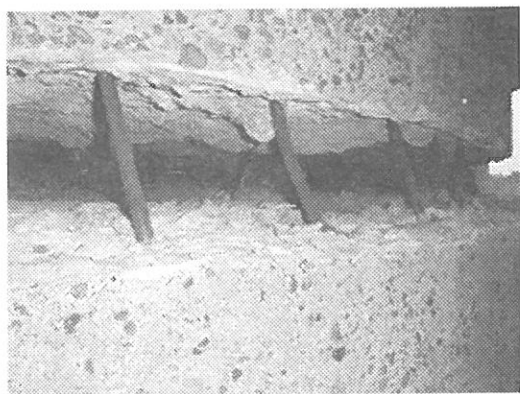


写真 3. 2. 6-7 烏溪橋 (上り線の橋脚の被害)

3. 2. 7 建設中の高速道路 (中部第二高速公路) (写真 3. 2. 7-1~2)

台湾西部を縦貫する高速道路 (中部第二高速公路) で、北部の台北付近は開通し

ているが、中南部は建設中である（地図 3.2.1-1(d) 参照）。南投県草屯鎮の中心部から県道 148 号線を西に 4km ほど進むと、猫羅溪に架かる溪頭橋付近で、建設中の高速道路が溪頭橋に直交するように交わっており、その部分で大きな被害が発生していた（写真 3.2.7-1）。上下線 2 本が平行して走る高架橋で、主桁の数はそれぞれ 8 本、RC 橋梁である。

写真 3.2.7-1 は、県道 148 号線の北側の部分の被害であり、写真 3.2.7-2 は南側の部分の被害である。橋脚は張り出し部を有したラーメン構造であり、柱部は直径約 1m の RC の円形断面である。桁はすべて単純桁である。桁が落ちたのは断層変位が原因ではなく、明らかに強震動によるもの。桁が連続桁であれば、このような被害は発生しなかったことは明白である。橋脚には損傷は見られず、落ちていない桁にも被害の跡は確認できなかった。

落ちている部分はまだ床版が打たれておらず、主桁だけが橋脚の上に並んで載せられた状態であった。そのため、桁は水平外力に対して摩擦だけで支持されており、強震動によってその摩擦が切れ、落橋したものと推察される。



写真 3.2.7-1 中部第二高速公路（建設中の高速道路高架橋）

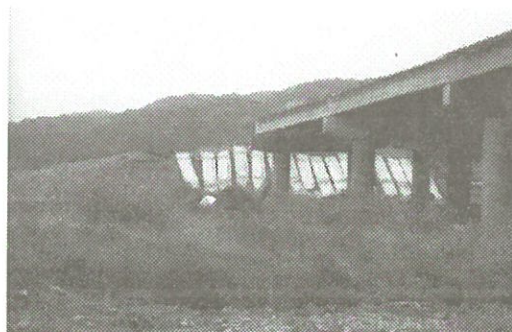


写真 3.2.7-2 中部第二高速公路（床版が打たれていない部分の桁がすべて落ちた）

3.2.8 溪頭橋 (写真 3.2.8-1~2)

溪頭橋 (写真 3.2.8-1) は、草屯から 148 号線を西に約 4km の地点の猫羅溪に架かる橋である (地図 3.2.1-1(d) 参照)。8 径間の RC 橋梁で、全径間すべてが単純桁である。径間長は 30m、橋長は 240m 程度と推定される。

溪頭橋には地震による被害はまったくなかった。河床部には明らかに噴砂の跡があり (写真 3.2.8-2)、河床部の地盤は液状化したものと考えられる。また、地盤状況から判断して、側方流動した可能性はほとんどないと考えられる。

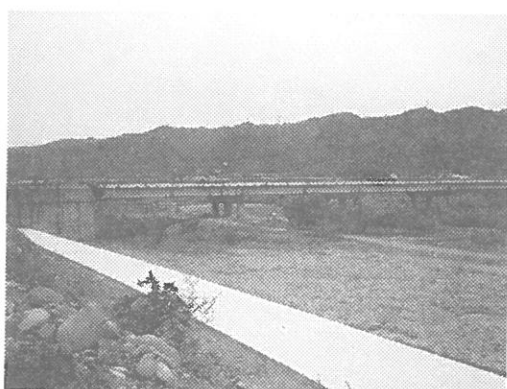


写真 3.2.8-1 溪頭橋 (被害なし)



写真 3.2.8-2 溪頭橋 (河床に液状化による噴砂孔)

3.2.9 裨頭橋 (裨は土偏に卑が正しい漢字) (写真 3.2.9-1~3)

裨頭橋は大甲溪に架かる 13 径間単純桁の RC 橋である (地図 3.2.1-1(a) (b) 参照)。橋長は 400m (地図上で計測)。石岡堰から西側に直線距離で 1km の位置にあり、断層変位により川の中に滝ができたことでたいへん有名になった橋である (写真 3.2.9-1~2)。

径間長は約 30m、幅員は 10m である。主桁は 4 本。1991 年 1 月に竣工した。橋脚は RC 製で、上部で張り出し部を有した楕円型の 1 本柱構造である。橋脚高さは約 10m。橋軸方向は南北方向に一致している。豊原側の 3 つの桁が連続して落橋した。落橋の原因は、河床に滝を作った断層変位によるもので、豊原側の地盤が 4~5m 隆起したためである。反対の後里側の各桁および橋脚は一見して健全で、ほとんど被害は発生していない (写真 3.2.9-3)。

断層変位による被害の特徴と言えものであるが、被害の程度が一つの橋で部分的に著しく異なっていることに非常に驚かされた。

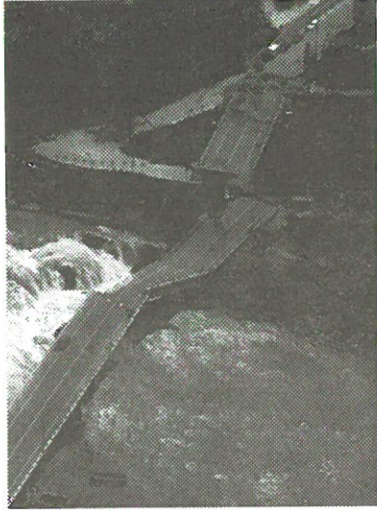


写真 3.2.9-1 裨頭橋（川の中に断層変位による滝ができた）^(3.2.4)

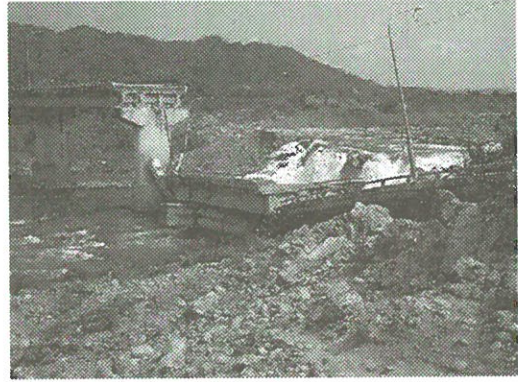


写真 3.2.9-2 裨頭橋（豊原川の3つの桁が連続して落橋）

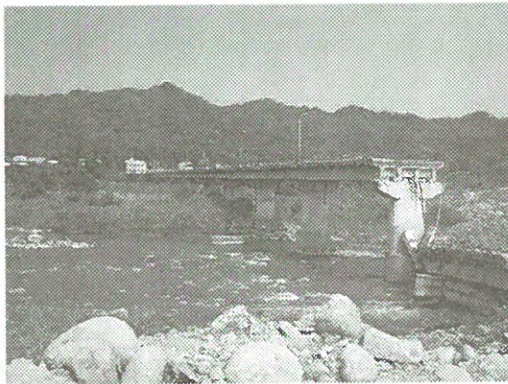


写真 3.2.9-3 裨頭橋（后里側の橋脚・橋桁に被害はほとんどみられなかった）

3.2.10 名竹大橋（写真 3.2.10-1～7）

名竹大橋は省道 3 号線上にあり、台湾で最も大きな河川である濁水溪に架かり、名間と竹山を結ぶ片側 2 車線、計 4 車線の RC 橋である（地図 3.2.1-1(d) 参照）。全部で 20 径間あり、8 本の主桁を有した単純桁橋梁である。上りと下りの車線はそれぞれ別の橋梁となっており、橋長は約 600m（地図上で計測）である。橋軸は北北西-南南東の方向を向いている。

橋の下を通った断層の動きにより、竹山側の 5～6 つの桁が落橋（竹山に向かう方は 6 つの桁が落橋し、名間に向かう方は 5 つの桁が落橋）している（写真 3.2.10-1～3）。橋梁より 50m ほど離れた河床にある茂みに、河川に平行する幅 10cm ほどの亀裂を十数本と、1.5m ほどの段差を発見したが（写真 3.2.10-4～5）、これらは地

震によって発生したものかどうかの判断はできなかった。調査時点では仮設道路により通行ができるようになっていた。また、落橋した橋梁の撤去作業が行われていた。

橋脚は張り出し部を有した円形の RC 橋脚が上下線ともに各 2 本（写真 3.2.10-3 参照）橋脚の柱の直径は 1~1.5m である。断層は竹山側から 5~6 番目の桁間を横切ったものと思われる。

名竹大橋の上流右岸の濁水（地名）付近に、名竹大橋から続く断層を発見した。断層によって破壊された河川護岸（護岸は 2m ほどの段差が生じていた）が、修復されていた（写真 3.2.10-6）。河床部と河川の周辺の地盤で 2m の高さの断層を確認した（写真 3.2.10-7）。



写真 3.2.10-1 名竹大橋 (3.2.4)

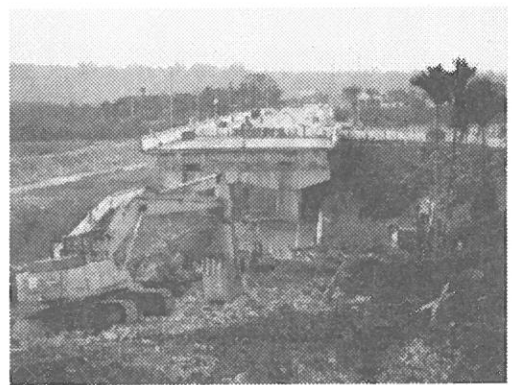


写真 3.2.10-2 名竹大橋（写真右側に仮設道路：写真提供佐藤氏）



写真 3.2.10-3 名竹大橋（橋脚は 2 本の円柱橋脚）



写真 3.2.10-4 名竹大橋（橋梁から 50m ほど離れた河床に亀裂）

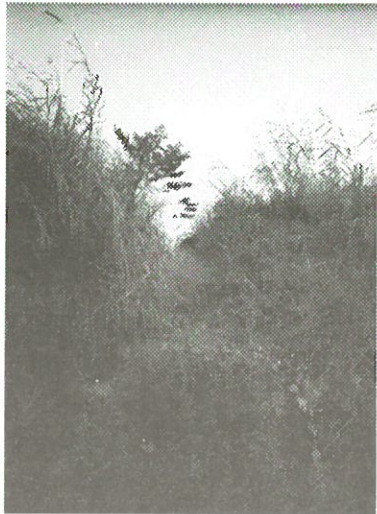


写真 3.2.10-5 名竹大橋 (河床 1.5m ほどの段差)

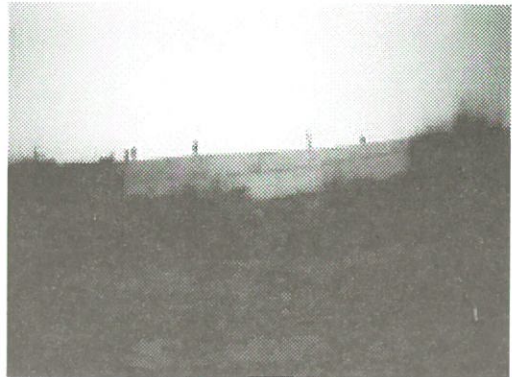


写真 3.2.10-6 名竹大橋 (河川護岸に断層変位による 2m ほどの段差が生じていたが修復されていた)



写真 3.2.10-7 名竹大橋 (周辺地盤で 2m の断層変位を確認)

3.2.11 集鹿大橋 (写真 3.2.11-1~6)

集鹿大橋(写真 3.2.11-1)は建設中の橋梁で、名竹大橋から 16 号線を東に約 7.5km の地点 (震央から 6~8km) にあり、集集鎮と鹿谷郷の境を流れる濁水溪に架かる橋梁である (地図 3.2.1-1(e)参照)。橋梁形式は斜張橋で、名竹大橋と同じ濁水溪に架かる橋である。

4 車線橋梁で、橋軸はほぼ南北方向に一致し、主塔が 1 本、橋梁の中央部に配置されている。斜張橋部は橋長が約 200m で、その両側には 8 径間の単純桁橋が連な

っている。ケーブルは主塔から 36 本が橋の両側に張られていたが、地震で南側の下から 13 番目のケーブルが 1 本外れていた (写真 3.2.11-2)。主塔と桁の接合部で主塔のコンクリートが肌落ちする被害が生じていた (写真 3.2.11-3)。また、主塔付近の桁を下から観察すると、コンクリートが剥落し鉄筋が露出していた。さらに、主塔から南に向かって 3 番目の橋脚が西側にずれていることが確認できた (写真 3.2.11-4)。また、主塔の基部にクラックが入っていたが (写真 3.2.11-5)、それらは橋梁の構造安全性に影響を及ぼすほどのものではなかった。

主塔より 50m ほど上流の河床に、液状化によって発生したと考えられる噴砂孔と地盤が陥没した跡が見られたが (写真 3.2.11-6)、橋梁の被害は地盤の液状化によるものとは考えられない。また、主塔から北側の橋脚の基部に鋼板を巻くと言った補強が行われていたが、鋼板の板厚はたいへん薄いものであった。



写真 3.2.11-1 集鹿大橋 (建設中の斜張橋
: 写真提供佐藤氏)

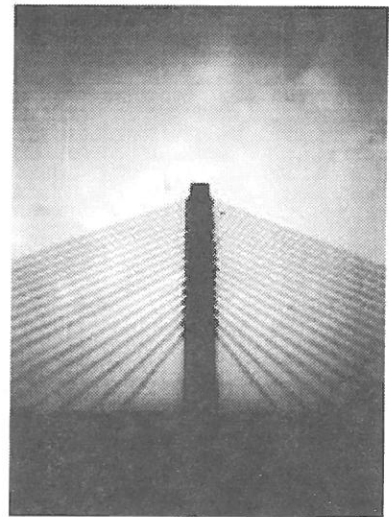


写真 3.2.11-2 集鹿大橋 (36 本の
ケーブルの南側から
13 番目のケーブルが
1 本はずれた)

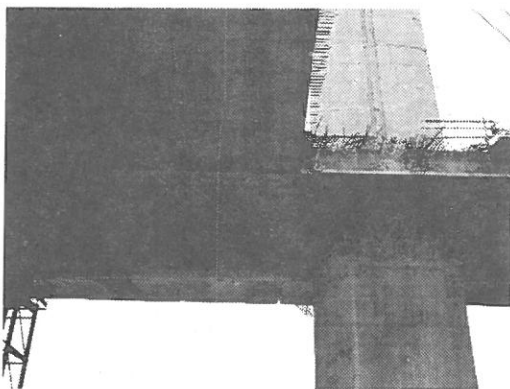


写真 3.2.11-3 集鹿大橋 (主塔と桁の接合
部で主塔のコンクリートが肌
落ちする被害が発生している)



写真 3.2.11-4 集鹿大橋 (主塔から南側
に向って 3 番目の橋脚が西側
にずれている)

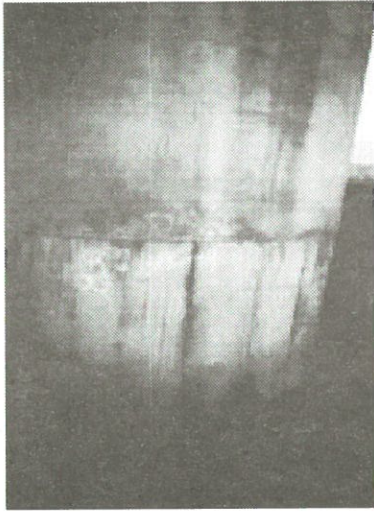


写真 3.2.11-5 集鹿大橋（主塔の基部にクラック）



写真 3.2.11-6 集鹿大橋（河床に液状化によって発生したと考えられる噴砂孔と地盤が陥落した跡があった）

3.2.12 軍功橋（写真 3.2.12-1～5）

軍功橋（地図 3.2.1-1(d)参照）は、14 号線上の猫羅溪に架かる 6 車線 8 径間の橋梁で、橋長は 290m（地図上で計測）。軍功橋の被害は 2 つの橋脚の支承部に損傷が生じた程度で致命的なものではない（写真 3.2.12-1～2）。液状化によって護岸が 1m 以上沈下したため、南投市の南函大橋から軍功橋のおよそ 5km の区間においてコンクリートによって堤防の嵩上げが行われた^(3.2.1)（写真 3.2.12-3）。

軍功橋から、猫羅溪の下流 180m の位置にある、橋長 290m の鋼製のアーチ橋の緑美橋（写真 3.2.12-4）が望めた。緑美橋は、桁が西側に 30～40cm ずれた被害であったと報告されている^(3.2.5)。

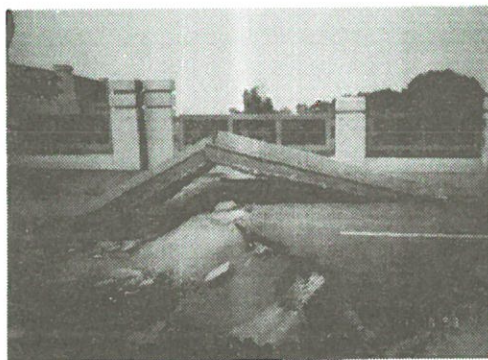


写真 3.2.12-1 軍功橋（取り付け道路と橋梁の接合部が被災：写真提供佐藤氏）

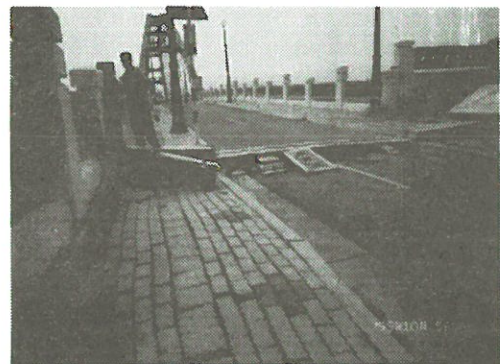


写真 3.2.12-2 軍功橋（取り付け道路と橋梁の接合部が被災：写真提供佐藤氏）

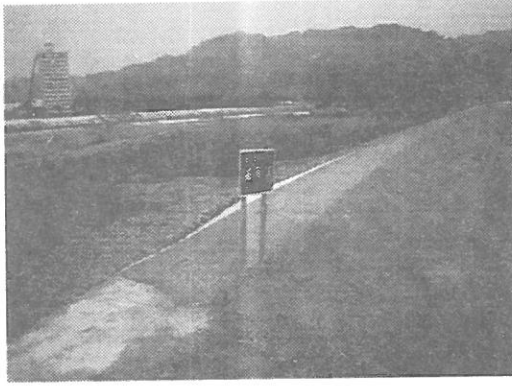


写真 3.2.12-3 軍功橋 (護岸が 1m 沈下。
嵩上げ工事が行われた)



写真 3.2.12-4 緑美橋 (桁が西側に 30~
40cm ずれた)

3.2.13 参考文献

- (3.2.1) 中村晋、大角恒雄：1999年台湾集集（JIJI）地震調査速報、土木学会誌、1999年12月.
- (3.2.2) 地盤工学会：1999年集集地震（台湾）調査報告、2000年2月.
- (3.2.3) The 1999 Ji-Ji Earthquake, Taiwan, -Investigation into Damage to Civil Engineering Structures-, Japan Society of Civil Engineers, December 1999.
- (3.2.4) 震瘍一九二一集集大震：総合報社、1999年10月（台湾で発行の写真集）.
- (3.2.5) 川島一彦、庄司学、岩田秀治：1999年集集大地震における道路橋の被害と被災メカニズム、文部省突発自然災害調査団、1999年台湾集集大地震調査報告会、1999年10月.

3.3 断層によるその他の被害

3.3.1 豊原市における建物被害

集集地震で地表に現れた地震断層（車籠埔断層）は全体としては南北の走向を持っているが、その北の端に当たる豊原・石岡境界付近で走向を東西に変えたとともに2つに分かれる。別れた内の1つはほぼ東西に流れている大甲溪の南岸に沿ってさらに東の方へ延びているが、もう1つは大甲溪を横切り北岸に沿うように東へと延びている（図-3.3.1）。そして、南岸から北岸へと大甲溪を横切る際に裨豊大橋*（3.2）と豊原市街地に被害を及ぼした（図-3.3.2）。（* 裨は土偏が正しい）

写真-3.3.1 は地震断層によって被害を受けた構造物を写したものである。RC 構造物を横断するように断層が現れ、断層の上に建っていた部分が大きく西へ傾いている。この地点における断層の鉛直方向の変位の食い違い量は約3mであった。断層の真上に建っていた部分には大きな被害が見られるが、建物のそれ以外の部分では被害は見あたらず、また周囲の建物についても地表地震断層が現れた所以外で地震動によって被害を受けたと思われるものは見られなかった。

尚、地質図¹⁾²⁾においては車籠埔断層の推定位置は豊原の中心地から北へまっすぐ延びるように描かれており、豊原から石岡の方へ東に走る断層は全く描かれていなかった。

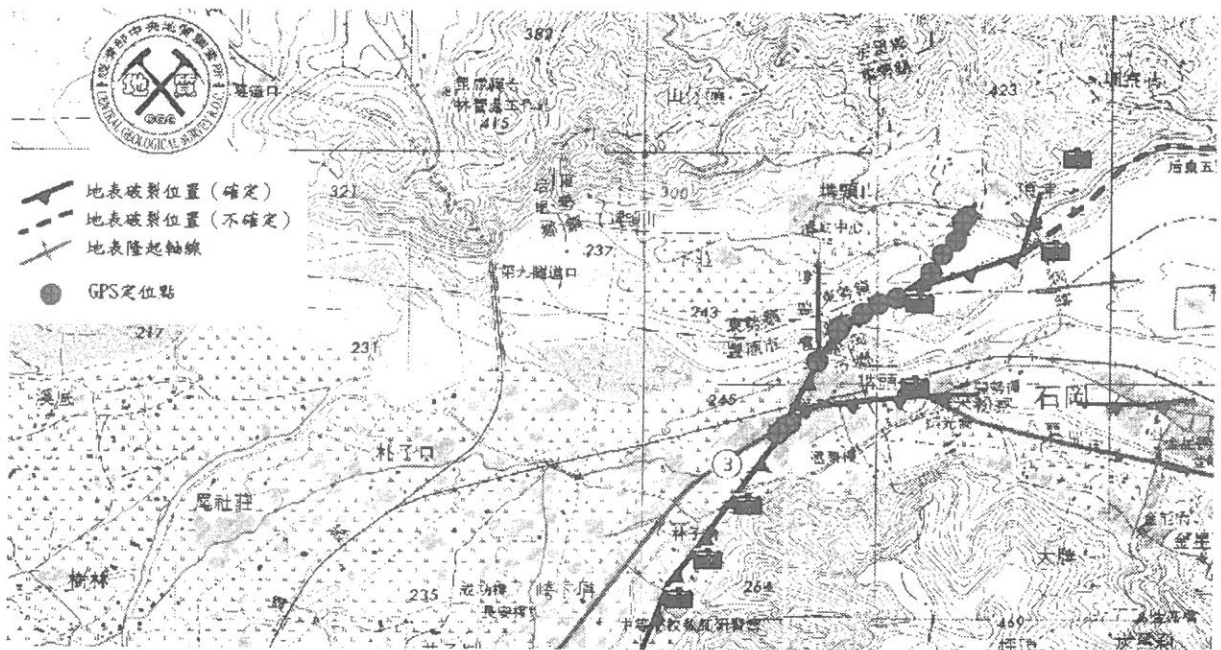


図-3.3.1 豊原市周辺の地表地震断層位置図（以下断層位置図はいずれも出典は台湾中央地質調査所ウェブページ

<http://www.moeacgs.gov.tw/921/921earthquake/index.htm>)



図-3.3.2 豊原市周辺の調査メモ



写真-3.3.1 断層による建物被害

3.3.2 一江橋北岸における建物の被害

車籠埔断層は台中市の周辺では市街地の東側の山裾に沿うようにはほぼ南北に走っているが、頭汁坑溪*を横切る際に2つに分かれている(図-3.3.3)。(* 汁は、さんずいに下、下の上に、"が正しい) その内、頭汁坑溪の右岸(北岸)に現れた地震断層は一江橋付近ではその取り付け部分をかすめるようにして東北東—西南西方向に走っている。一江橋より東側では断層のすべり量はあまり大きくなかったようで調査時点で

ははっきりとした地震断層は確認できなかったが、一江橋の西側において（図-3.3.4）は地震断層の鉛直方向のすべり量は約 3m に達していた（写真-3.3.2）。写真-3.3.3 は一江橋西側の断層の直上に建っていた建物の様子を示したものである。3階建ての建物全体が断層によって北西方向に傾いていた。しかし、壁に損傷は見られず、窓ガラスも割れていなかった。また、その建物に隣接してすぐ北の断層の下盤側に建っていた町工場は、トタン板を打ち付けたような作りであったにも関わらず特に目立った被害を受けておらず、調査時も操業していた。一江橋北岸付近では、地震動による被害はほとんど生じず、地表地震断層の真上に建っていた構造物だけが断層変位によって被害を受けたようである。

建物を大きく傾かせた地震断層は写真の建物の裏側（西側）では急にすべり量が小さくなり不明瞭になっていた。

地質図^{1),2)}においては車籠埔断層は頭汁坑溪の右岸に現れた断層の一番西端の位置を通るように南北に引かれていた。

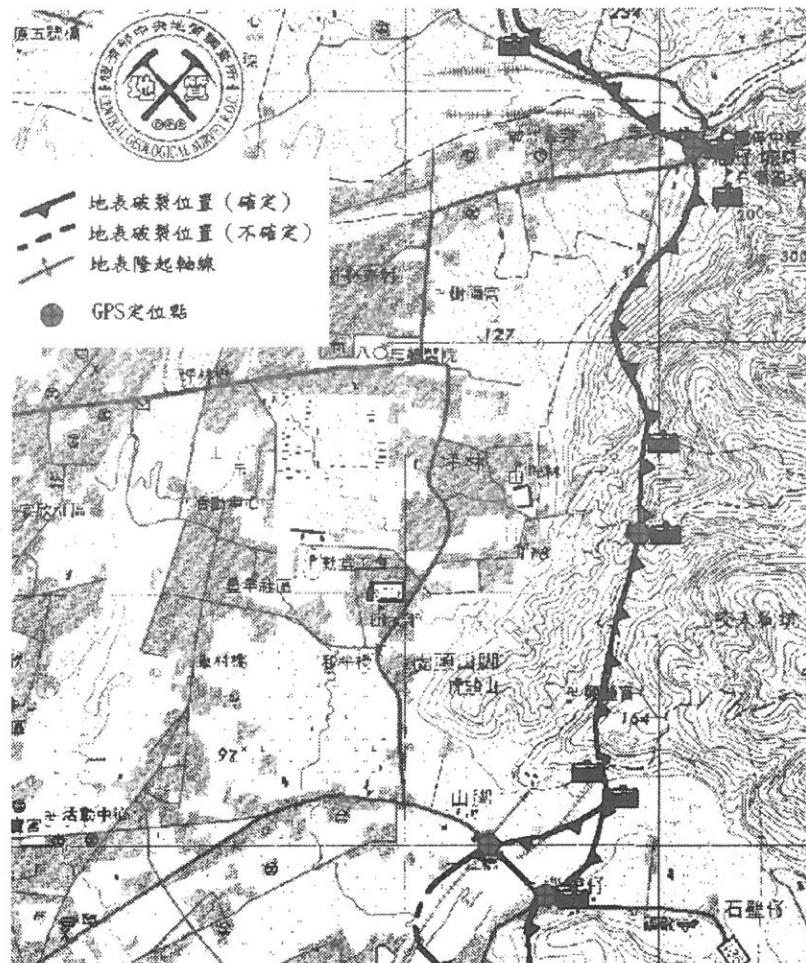


図-3.3.3 一江橋付近の地表地震断層位置図

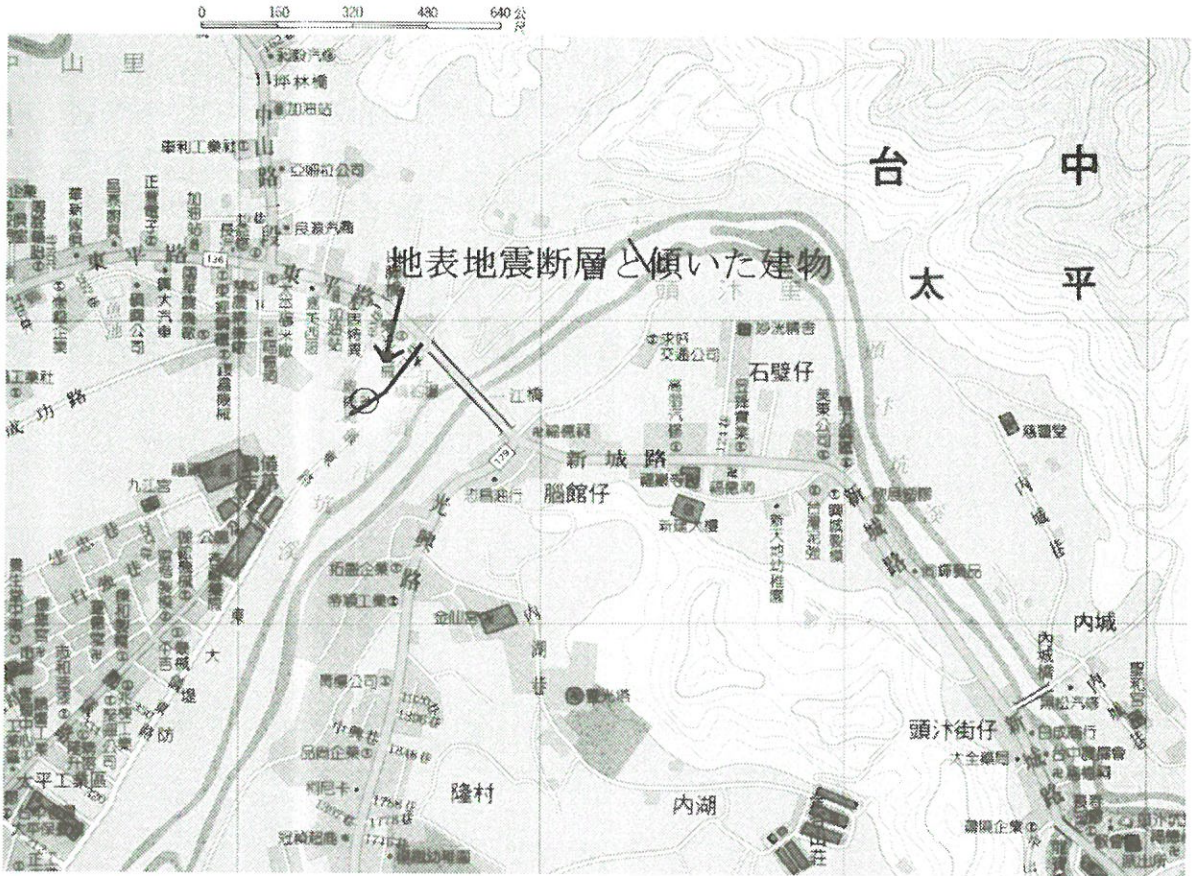


図-3.3.4 一江橋周辺の調査メモ



写真-3.3.2 一江橋西の地表地震断層



写真-3.3.3 地震断層と傾いた建物

3.3.3 霧峰における被害

大里市から霧峰にかけて車籠埔断層は草湖溪の南岸の山裾を東北東—西南西方向に走っている（図-3.3.5）。霧峰郷吉峰村において、断層によって鉄塔（～鉄塔被害の詳細は3.1.2(1)～）と家屋が被害を受けた（図-3.3.6）。

写真-3.3.4 と写真-3.3.5 は吉峰村に現れた断層と家屋の被害の様子を写したものである。断層は鉄塔（天輪—霧峰線 60）の位置ではあまり顕著にずれていなかったが、鉄塔から数十 m 西へ向かった写真-3.3.5 の場所においては大きな断層変位が見られた。調査時点では重機が入って工事をしており地震時に生じた断層の形状は残っていなかったが、住人によると、もともと幅 5m あった道路が断層によって完全に埋まってしまったということであり（写真-3.3.4 奥）、また、写真-3.3.5 の左の家屋が建っている地面の位置と右側の重機が入っている位置は地震前には同じ高さであったということである。鉛直方向で 2m から 3m 程度の変位の食い違いが生じたようである。地質図^{1),2)}では、写真の位置から 1km 程度西にある霧峰の市街地のさらに西側に車籠埔断層の推測位置が記されていた。



写真-3.3.4 霧峰における地震断層



写真-3.3.5 霧峰における地震断層と家屋の被害の様子

3.3.4 名間における鉄道被害

集集線は二水から車呈*に向かう山間部の支線である。（* 呈は土偏に呈が正しい）集集線を名間の東で断層が横切り線路に断層変位による被害が生じた。車籠埔断層は名間市街地付近では北西—南東方向の走向を持っているが、集集線と交わるあたりで南北に走向を変える。集集線の南からその南の国道と交わるまではいったん北東—南西方向に向きを変え、この間で鉄塔の真下を通過して大きく鉄塔を傾かせている（3.1）。さらに国道と交差するあたりから南側では南北の走向を持っている（図-3.3.7,

図-3.3.8).

写真-3.3.6 に集集線を断層が横切っているところの様子を示す。断層は集集線が道路をまたぐための支間長 5m の橋の西側の取り付け部に現れており、取り付け部が地盤に対して 1m 程度持ち上がって軌道が浮き上がっていた。さらに取り付け部の西側の地盤も東側に向かって 2m 近く盛り上がっていた。写真の位置より西側の断層の下盤側では線路にはほとんど被害は見られなかったが、上盤側ではレールが座屈するなどの被害が生じていた (写真-3.3.7, 写真-3.3.8)。

写真-3.3.7 は写真-3.3.6 に写っている橋を渡ったすぐ東のところの様子を写したものであり、レールが座屈して 4m 程度北の方にせり出している。さらにその東側の様子を写したものが写真-3.3.8 である。レールが波打つように曲がっている。レールには、レールを締結するための犬釘による引っ掻き傷がついており、この傷からレールが全体として地面に対して西の方へと動いていったことが分かる (写真-3.3.9)。

地震による地表変位の分布図 (図-3.3.9) より、名間の周辺では断層を境にして東側では西北西方向に西側では東南東方向に差し引き 4m 程度収縮するように地表面が動いているものと思われる。レールも地表面と同じように動くと考えられるが、地盤と弾性係数の違うレールは地盤と同様には収縮することができず、東 (上盤) 側から押し出されるようにしてレールは地面に対して西側に移動して、地震断層の上盤側で写真のような座屈を起こしたものと考えられる。

地質図¹⁾²⁾においては名間の市街地を貫くように、実際に現れた位置より西側に車籠埔断層の推定位置が記されていた。

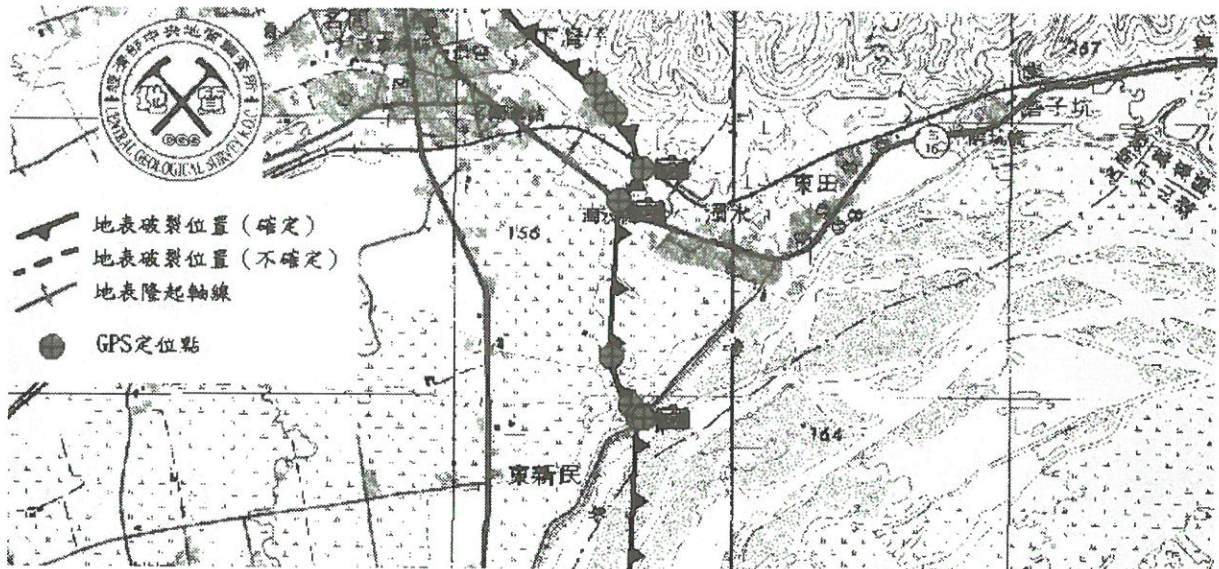


図-3.3.7 名間付近の地表地震断層位置図



図-3.3.8 名間付近の調査メモ

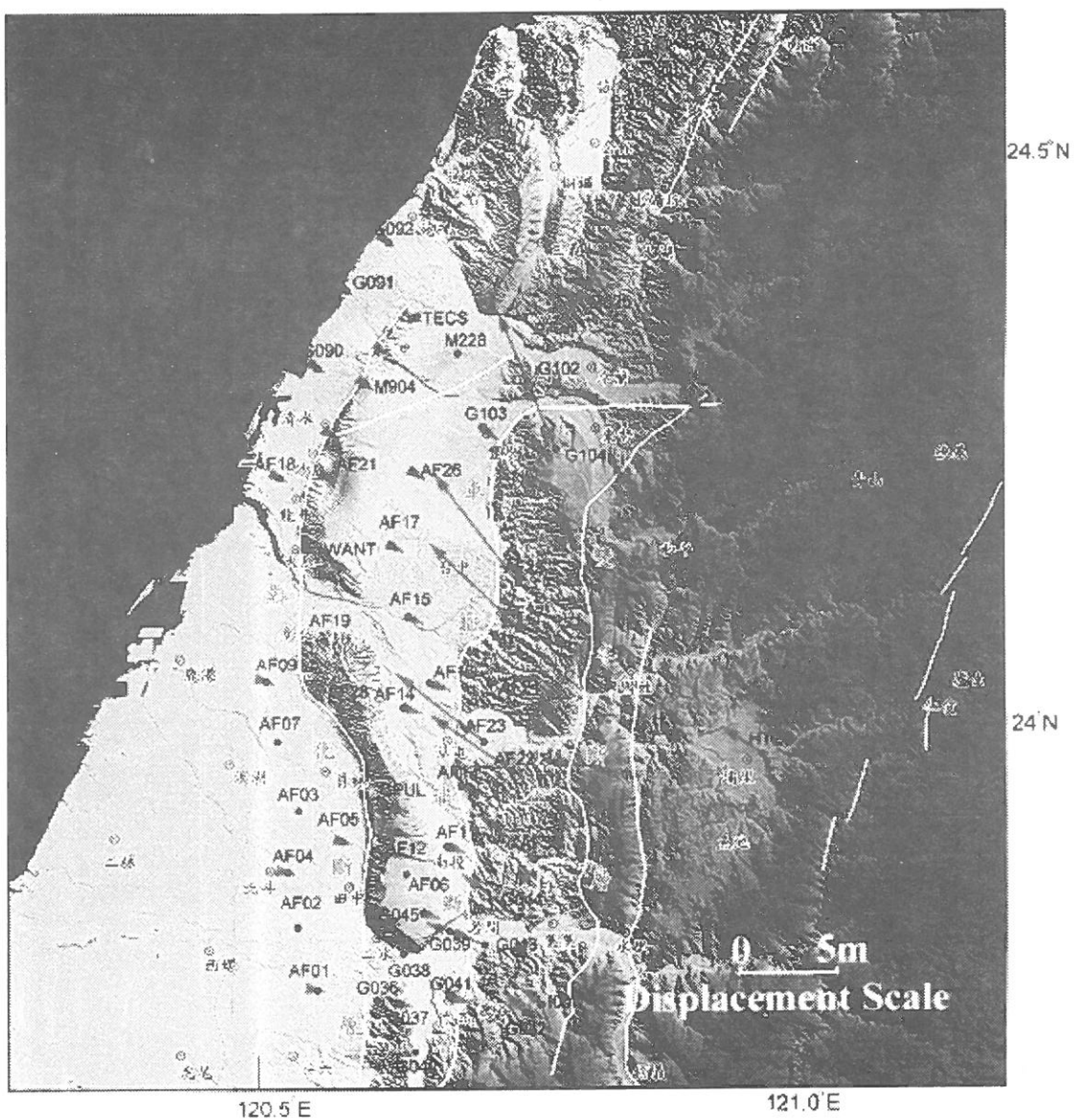


図-3.3.9 集集地震による地表変位分布 (台湾中央地質調査所ウェブページ
<http://www.moeacgs.gov.tw/921/messure.htm>)

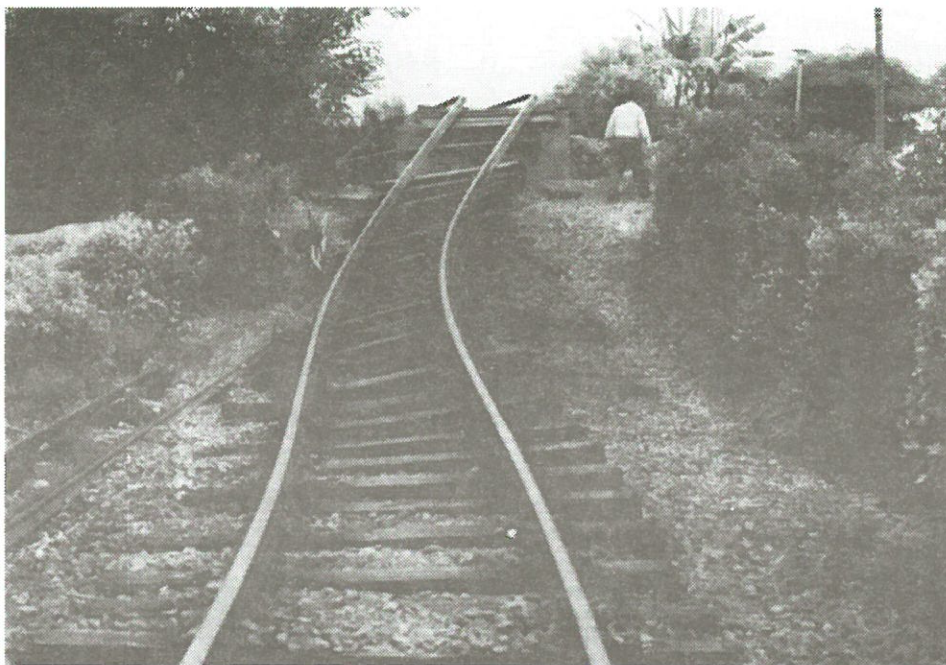


写真-3.3.6 地表地震断層による線路の被害



写真-3.3.7 断層上盤側でのレールの座屈



写真-3.3.8 断層上盤側で見られたレールの変形

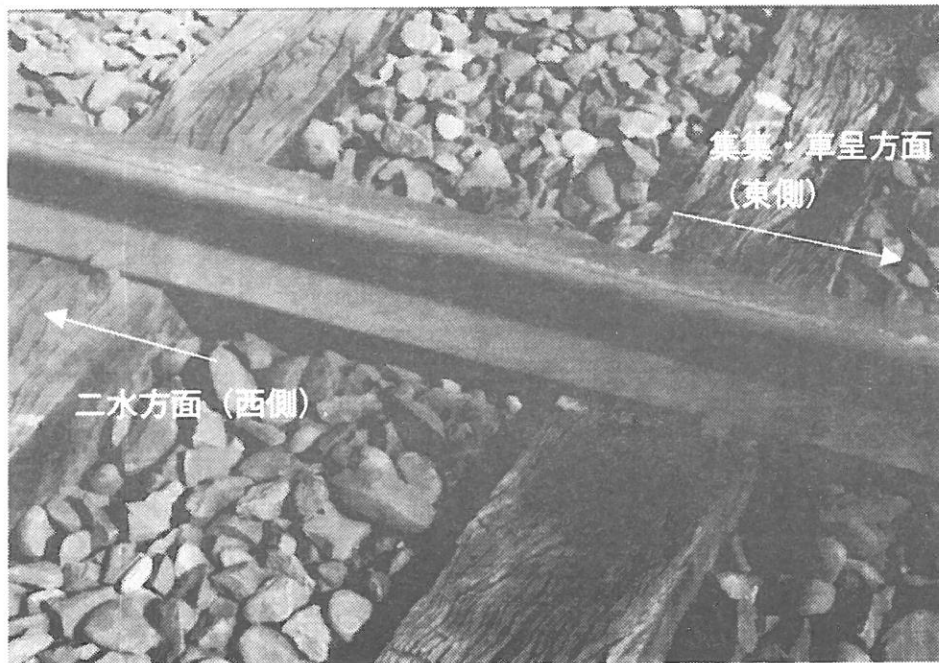


写真-3.3.9 レールに付いた傷

参考文献

- 1) 經濟部中央地質調査所, 台湾地質図, 1986.
- 2) 中国石油股分有限公司*, 台湾西部地質図北幅, 1971. (* 分は人偏に分が正しい)

4 員林の被害

4.1 被害概要

員林における主だった被害は、液状化による建物（主に住宅等の低層建物）の沈下や傾斜であった。員林鎮周辺の地形は沖積低地であり、付近には中小河川がいくつか流れており、地下水位も高く、液状化が生じやすい地理的な条件を備えていたものと考えられる。

図-4.1.1 は台湾大学陳教授から入手した員林鎮市街の液状化分布図である。斜線部は液状化した地域である。図のように特に街の東側で液状化が広く見られ、西側では点在する程度のものである。陳教授はこの理由として、街の東側にある山地から低地部に向かって流れ込む地下水の影響で街の東部は地下水位が高く、かつ砂層

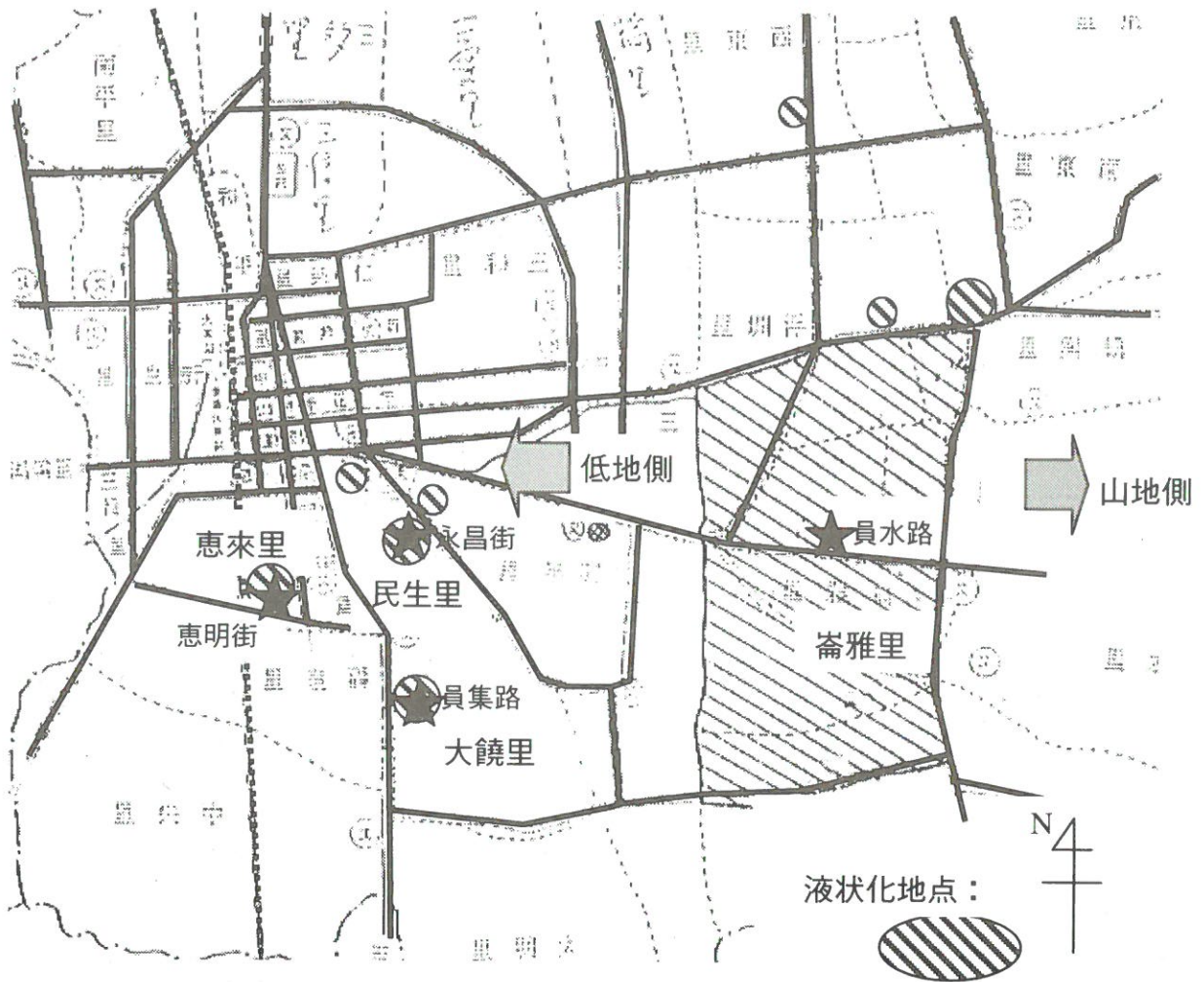


図-4.1.1 員林における調査位置の概略図

(台湾大学陳教授による資料に加筆、斜線領域が液状化地点、星印が調査地点)

が厚いため液状化しやすく、一方、街の西部は東部に比べ地盤がシルト質であるため東部ほど液状化が生じなかったとしている。詳細な地盤状況は分からないが、同じ市街においても砂層の厚さと地下水位の違いが液状化発生の有無や程度に影響したものと考えられる。

以下では調査した地点のうち、恵來里（恵明街）、民生里（永昌街）、崙雅里（貝水路）の三地点について調査結果を述べる。

4.2 各調査地点における被害

(1) 恵來里（恵明街）付近

恵明街にある国富鎮ビル（地上 9F、地下 1 階、直接基礎のマンション）を調査した。このビルの地下駐車場内では、床穴から噴出した噴砂の跡と、壁面上方に取り付けてある管と壁の隙間から流れ出した噴砂痕を確認した(写真-4.2.1 左)。住民の話によるとこの建物は、旧河道を埋め立てた水田上に 8 年前に建設されたということであった。ビル周辺においても敷地境界の排水溝が液状化によるものと思われる被害を受けていた(写真-4.2.1 右)。また、国富鎮ビルは北棟と南棟の 2 棟からなり、北

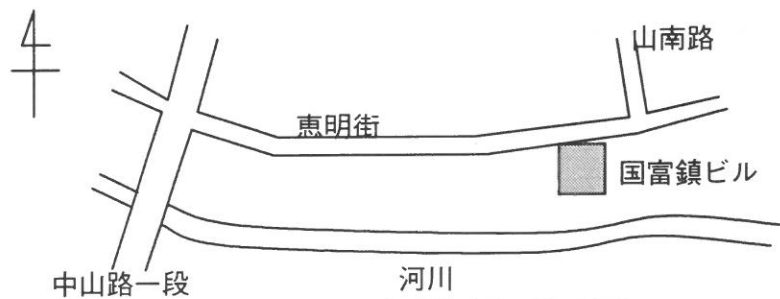


図-4.2.1 恵明街周辺概略図

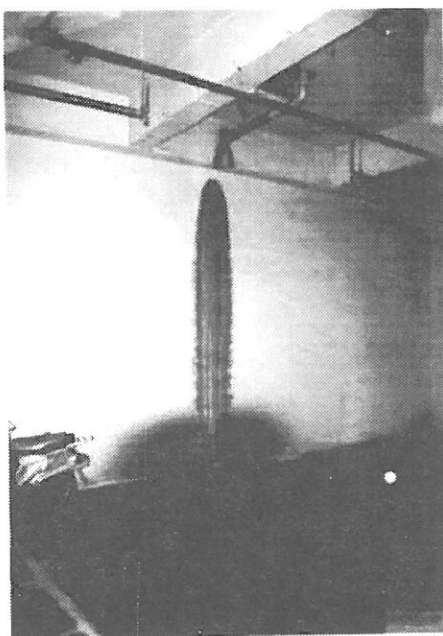


写真-4.2.1 国富鎮ビルの被害

棟は大きな被害は認められなかったが、南棟は南に 0.5° 傾き立ち入り禁止となっていた。

地震後に敷地内で行われたボーリング柱状図をビルのオーナーの好意で見ることができた。これによると、土質はシルト、粘土が卓越しており、N値は10以下の緩い地盤であった。詳しい調査が必要であるが、この地点が旧河道であったということを考慮すると、表層の埋立土が液状化したのではないかと推定される。

(2) 民生里（永昌街）付近

民生里では、永昌街・南興街・永春街を調査した。南興街や永春街は、道路脇の民家が沈下し道路がはらむといった被害がみられた。調査位置と建物被害の概略を図-4.2.2 に示す。図に示すように液状化による地盤変状に伴い 10° 近く回転してい

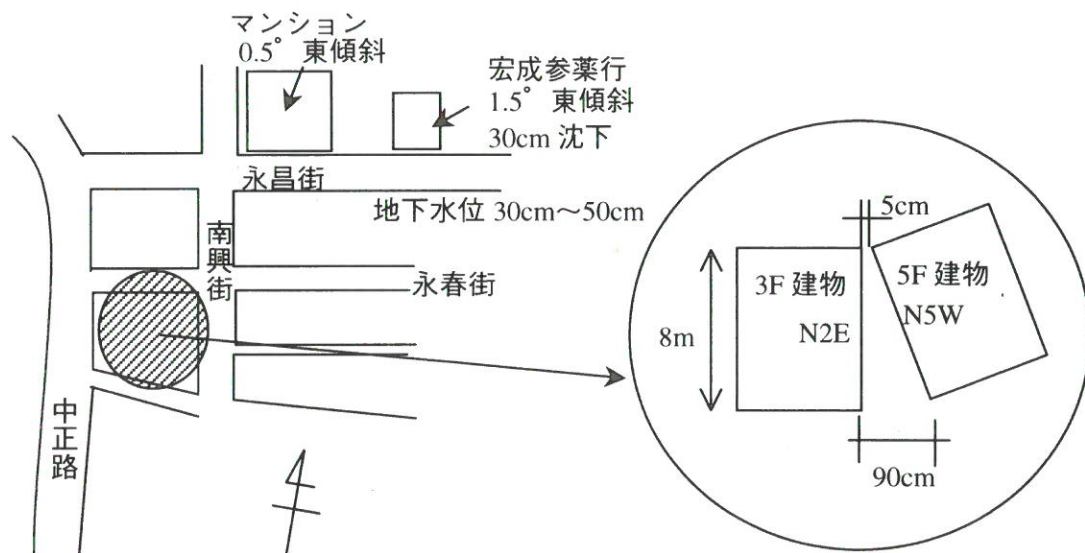


図-4.2.2 民生里の永昌街・南興街・永春街概略図及び建物被害

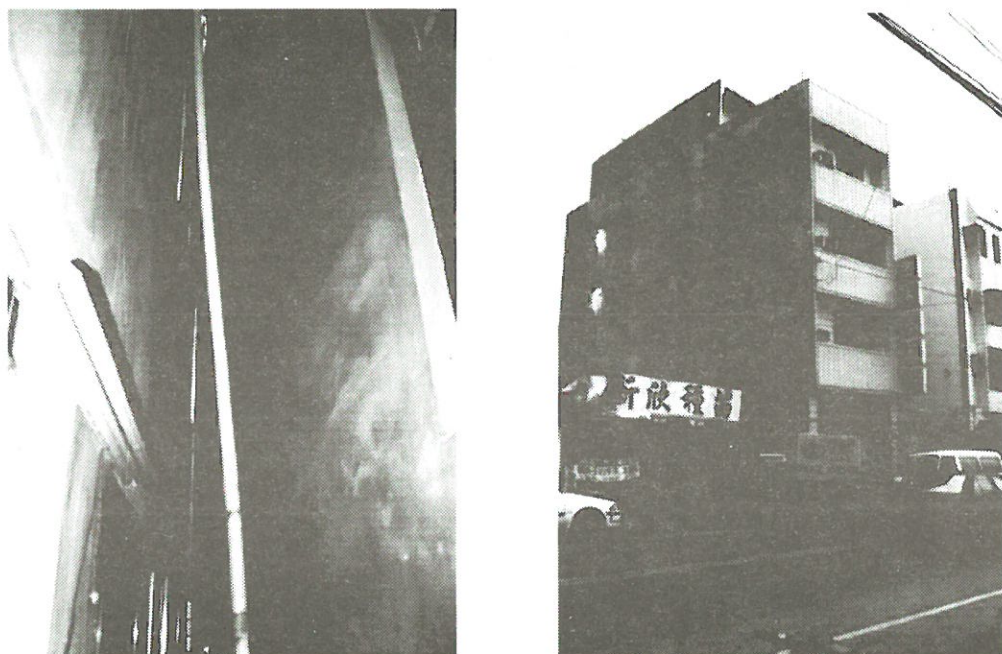


写真-4.2.2 液状化による建物の傾斜、回転

る民家があった(写真-4.2.2 左)。また永昌街沿いに、東に 1.5° 傾き、30cm 沈下する被害を受けた建物があったが(写真-4.2.2 右)、1 階の人参薬局の店員によれば、薬液の入った重心の高い薬瓶等の展示品が倒れるなどの被害はなかったということである。

南興街において周辺からかき集められた噴砂を採取し、日本に持ち帰り粒度試験を行った結果、砂 30.8%、シルト 60.6%、粘土分 8.6%と、シルト分が卓越した土質であった。

(3) 崙雅里（員水路）付近

員林の中でも、員水路周辺は液状化による地盤変状が広く確認されている地域である。調査した員水路一段では、液状化により沈下や傾斜している建物が多く見られた。図-4.2.3 に被害状況の概略図を示す。写真-4.2.3 に傾斜した建物の例を示す。

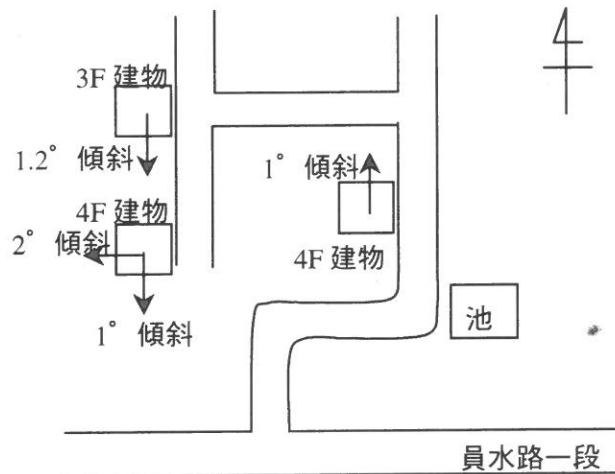


図-4.2.3 員水路一段 446 巷付近の概略図



写真-4.2.3 液状化により傾斜した建物

周辺の地下水位は地表面から 80cm 深さ程度であった。建物と建物の隙間に溜まった噴砂をみると、南興街や恵明街でみられた黒っぽい細粒な噴砂と異なり細粒分が少なく比較的きれいな砂であった。数箇所のみ調査からははっきりとしたことは言えないが、地層構成・液状化層が同じ員林市街でも一様ではないことが推定される。

採取した噴砂の粒度試験を行った結果、砂 87.6%、シルト 9.1%、粘土 3.3%と、細粒分を 12%程度含む砂であった。

5 日月潭とその周辺の被害

5.1 ダムの被害

人工湖である日月潭にある水社ダムと頭社ダムの調査を行った。この調査では、まず、大観発電所の事務所において日月潭、ダムおよび発電所の歴史、構成、および被害状況等の概要について台湾電力から説明を受けた後、台湾電力の技術者にも同行していただいてダムの調査を行った。

両ダム地点では地震計測は行われておらずデータはないが、周辺の記録、被害状況から、相当の強震動（最大加速度 500gal 以上）があったと推定されている。今回両ダムとも軽微な影響にとどまったことは、アースダムの耐震性の高さを示す貴重な事例と言えよう。

日月潭における水社ダムおよび頭社ダムの位置を図-5.1.1 に示す。以下、それぞれのダムごとに被害の概要について述べる。

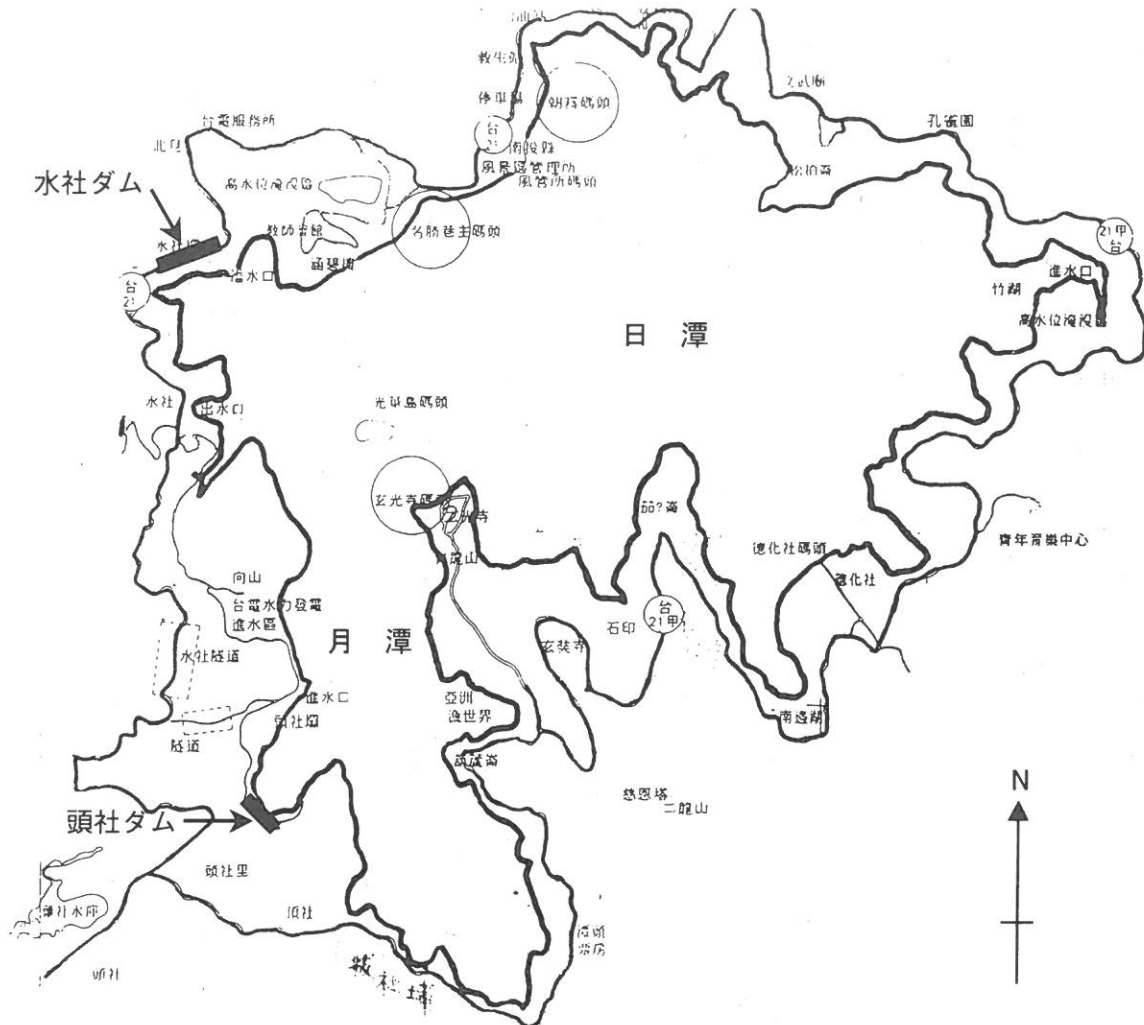


図-5.1.1 日月潭における水社ダムと頭社ダムの位置
(台湾電力からの入手資料に加筆)

(1) 水社ダム

水社ダムは、堤頂長が363mのセンターコア（コンクリート製）アースフィルダムである。水社ダムの平面図および断面図をそれぞれ図-5.1.2および図-5.1.3に示す。

地震によって、堤体に最大で13cmの沈下が生じ、図-5.1.2および図-5.1.3に示すように、上流側の堤体に3本、堤頂に3本、下流側堤体に1本の計7本の亀裂が発生した。これらの亀裂は幅1cm～7cm、長さは短いもので70m、長いもので330mあり、堤頂の亀裂について掘削調査した結果、深さは2～3mとのことであった。また、上流側の堤体に生じたクラックは、堤体の表面を覆っているコンクリートの継ぎ目に生じており、調査の時点では、上流側の亀裂はモルタル(?)で、堤頂の亀裂はアスファルトで、既に補修されていた(写真-5.1.1, 写真-5.1.2)。

この後、調査時点では下げていた水位を徐々に上げながら様子を見る方針とのことであったが、台湾電力では、この程度の被害はダムの機能上全く問題はないと判断しているとのことであった。なお、地震直後しばらくは、表面に現れたクラックが地域住民など関係者に大きい不安をもたらしたようである。

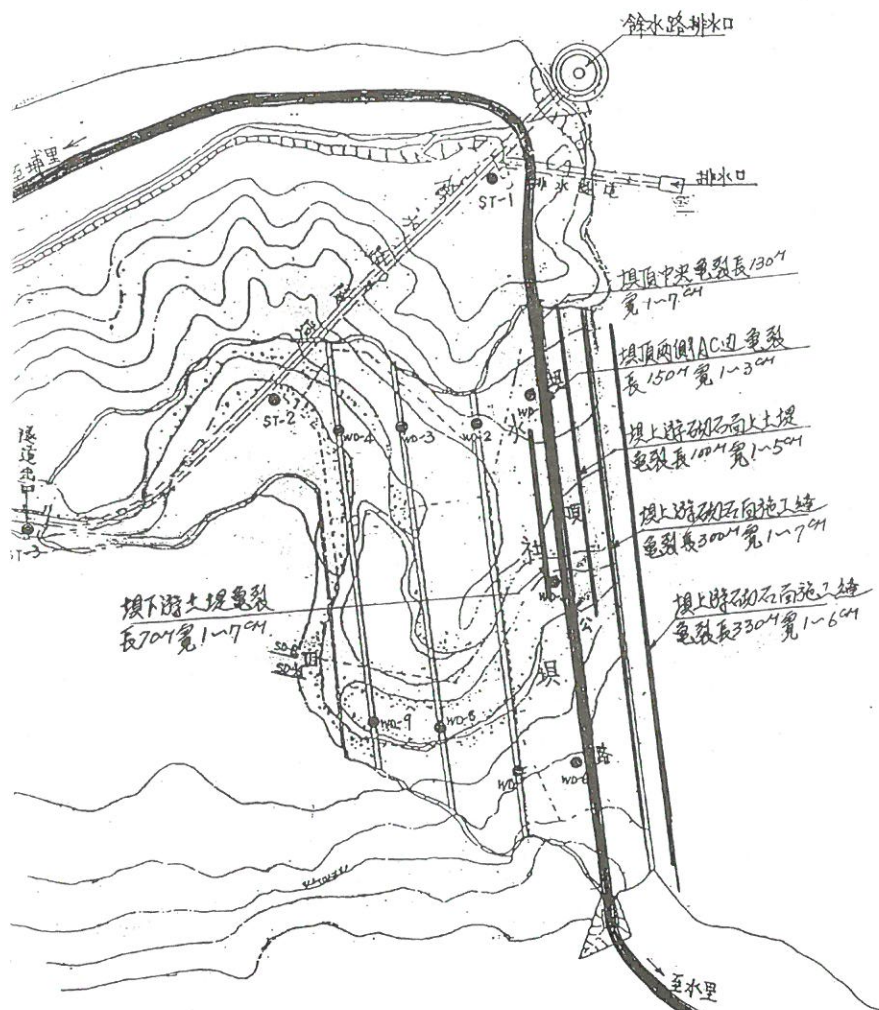


図-5.1.2 水社ダム平面図上の亀裂の位置、長さおよび幅
(台湾電力からの入手資料；図中に記入の“寛”は“幅”の意味)

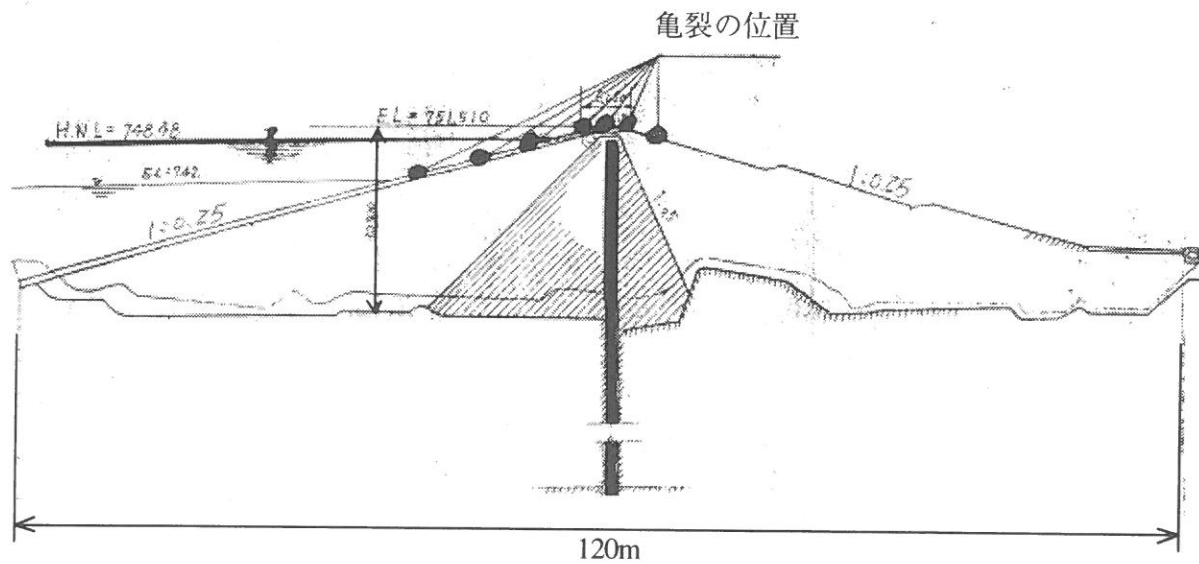


図-5.1.3 水社ダム断面図上の亀裂の位置
(台湾電力からの入手資料に加筆)



写真-5.1.1 水社ダム上流側の亀裂の補修状況

アスファルト
による補修箇所

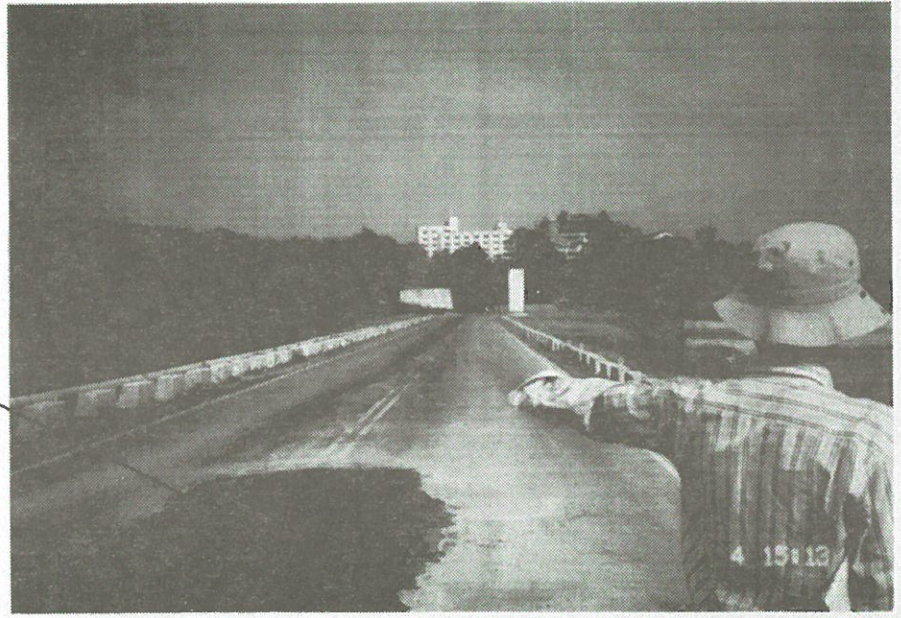


写真-5.1.2 水社ダム堤頂の亀裂の補修状況

(2) 頭社ダム

頭社ダムも、図-5.1.4 および図-5.1.5 に示すように、水社ダムと同様のセンターコア（コンクリート製）アースフィルダムであるが、実際には断面図には描かれていない random fill と呼ばれる盛土（図-5.1.5 中に波線で加筆したような補強盛土的な土構造物と思われる；写真 5-1-3 参照）があり、この部分に亀裂が生じた。メモによるとこの亀裂による段差は 20cm～50cm となっている。なお、堤体の沈下量は最大で 24cm とされている。

頭社ダムについても、この程度の被害は、ダムの機能上全く問題はないと判断しているとのことであった。

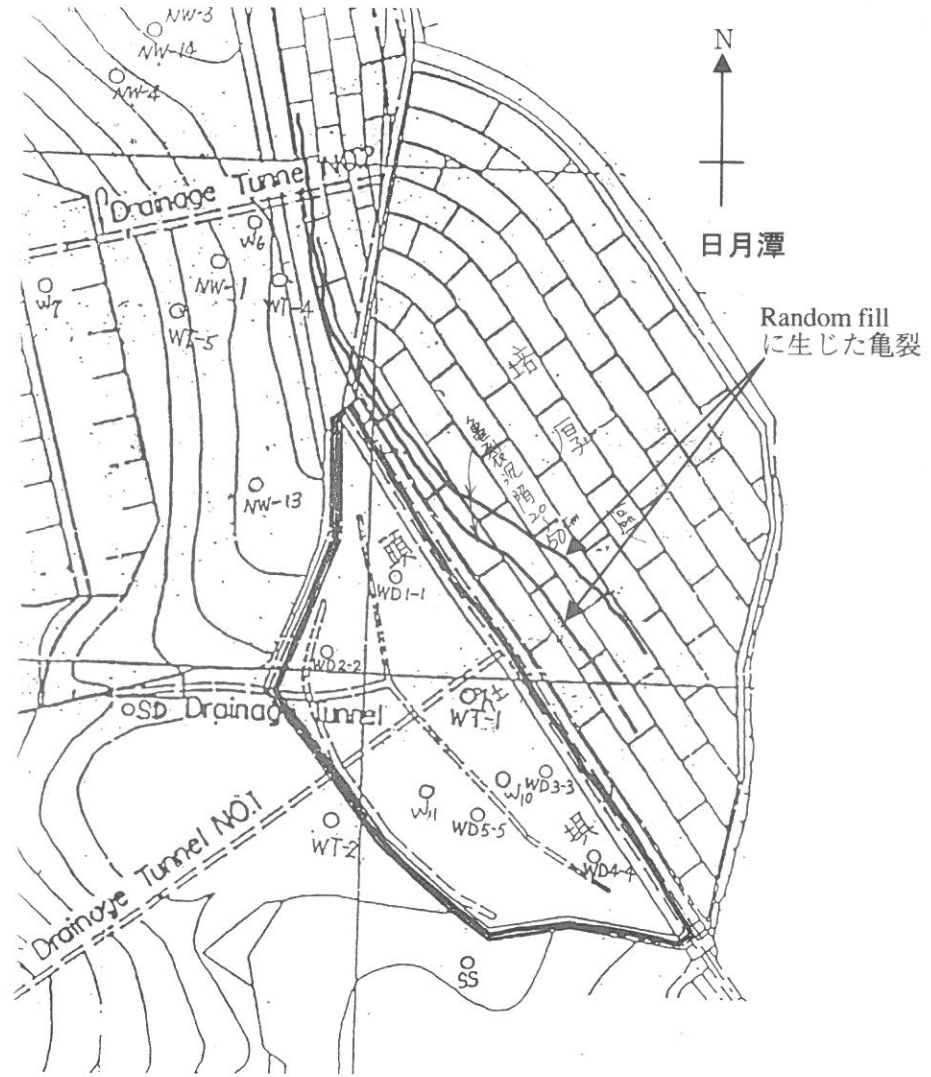


図-5.14 頭社ダム平面図上の亀裂の位置
(台湾電力からの入手資料に加筆)

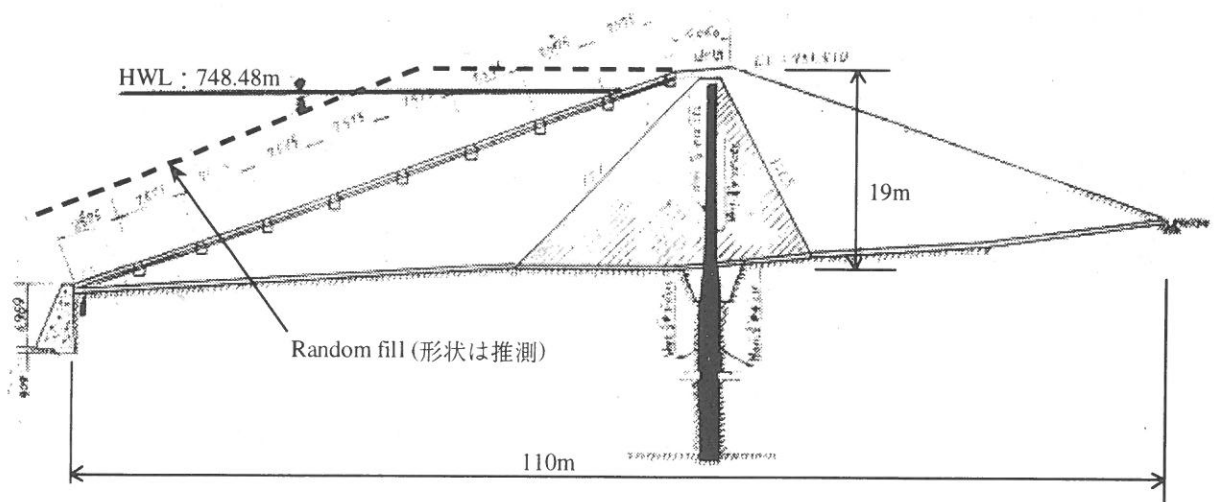


図-5.15 頭社ダム断面図
(台湾電力からの入手資料に加筆)

random fill 部分

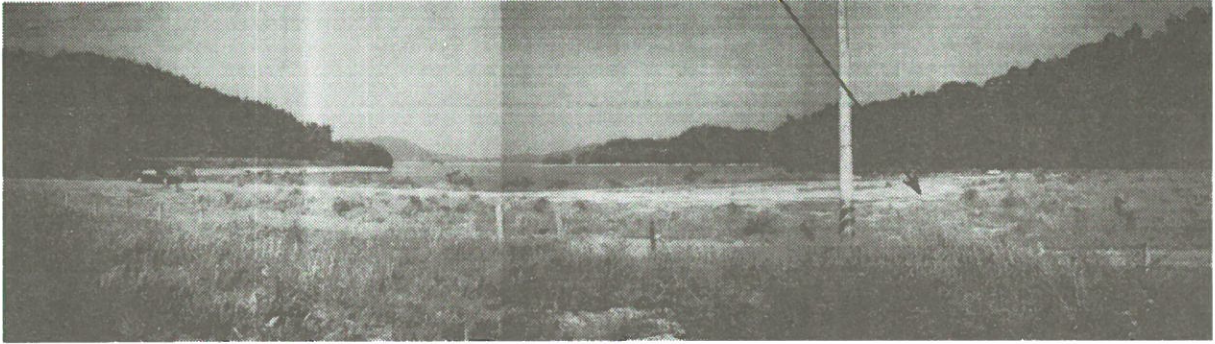


写真-5.1.3 頭社ダムの random fill
(堤頂付近から日月潭方向に向かって撮影)

5.2 埔里での被害

埔里は、被害のもっとも著しかった町の一つであり、半数以上の建物が被害を受けているといわれている。しかし、調査団は移動の途中に、30分程度立ち寄ったのみであるので、全体的な被害は把握していない。ここでは、調査した範囲のみを示す。

図-5.2.1に地図および行動範囲を示す。中山路三段から埔里市街に入ると、当初は大きな被害はほとんど見られなかった。しかし、中正路を南東に曲がってから被害が現れるようになる。樹人路を東に曲がったが、この付近では相当数の建物が被害が見られるようになった。崩壊している建物も多くあった。

樹人路の南側に幸福家園というマンションがあった。写真-5.2.1に示すような RC 造5階建ての建物で、南北方向に三つのブロックに分けられていたが、写真-5.2.2に示すように、北側（樹人路に面した側）が東に、南側は西にそれぞれ一回部分が崩壊して移動していた。中央部はこの中間で、鉛直方向に沈下していた。すなわち、写真-5.2.2は建物の東端の部分であるが、元は同じ位置にあったのが崩壊後は水平方向に段差ができていたわけである。なぜ、異なる方向に崩壊したのかという原因は分かっていない。

集集地震での報道で、台湾では柱や壁の中に一斗缶が入っていて、手抜き工事と話題になった。このような一斗缶は、本来、非構造部材に使うもので、手抜き工事

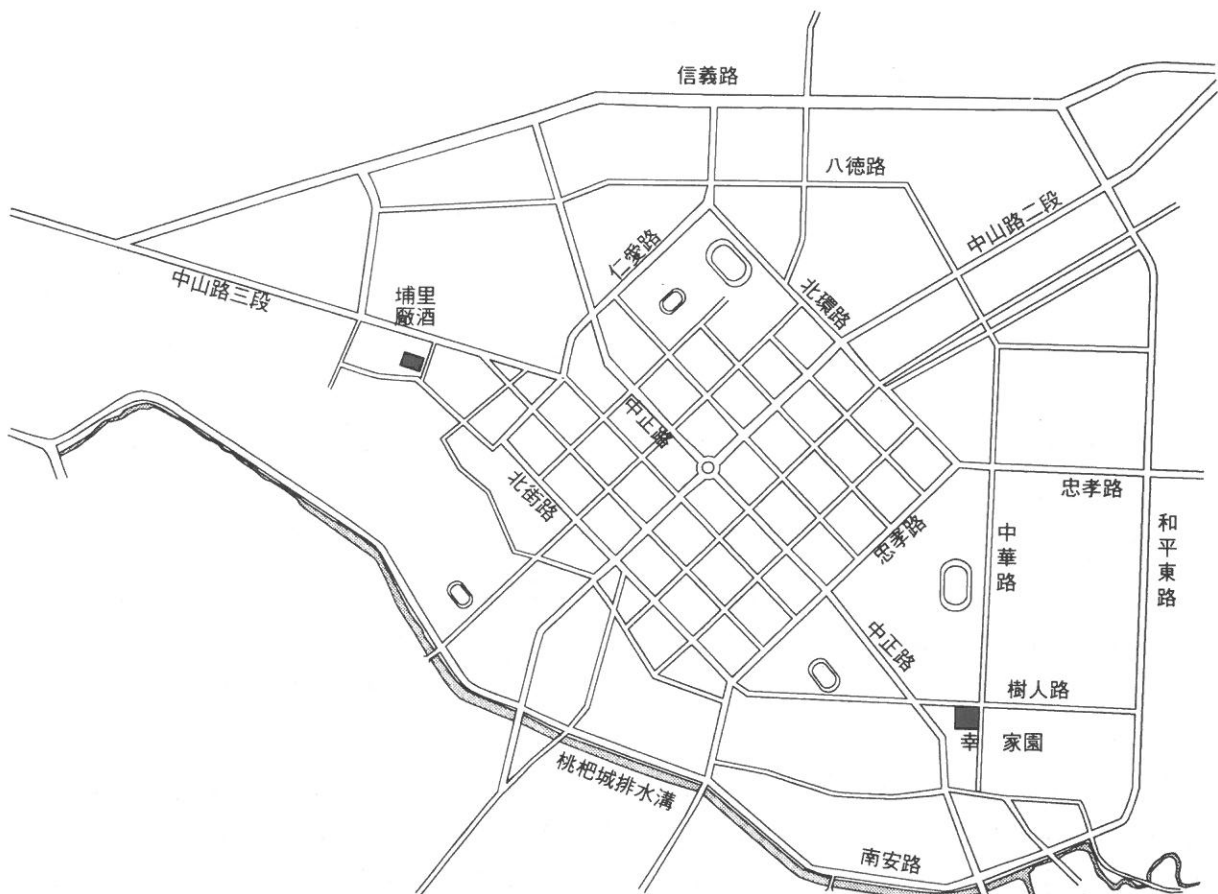


図-5.2.1 埔里の地図と移動経路，調査建物位置



写真-5.2.1 樹人路から見た幸福家園の被害状況

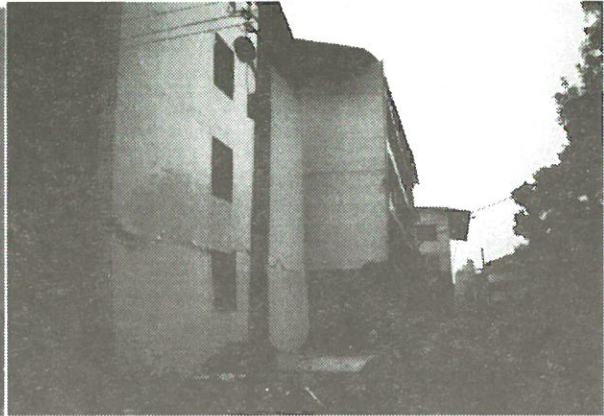


写真-5.2.2 建物東端部を南から眺めたところ

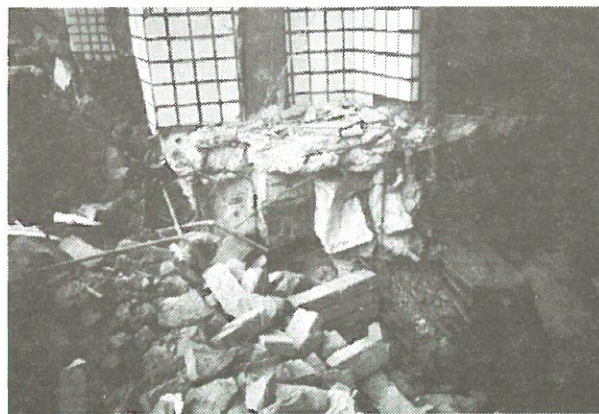


写真-5.2.3 柱部の破壊状況で、一斗缶が入っているのがみえる。



写真-5.2.4 埔里酒廠工場の被害状況

ではないとのことであったが、写真-5.2.3に見られるような入り方をしていると、構造部材にも使われており、このために耐力が著しく低下したであろうことは想像に難くない。

この後、中華路、忠孝路、北環路、仁愛路を經由して、中山路三段に戻ったが、この間、同様な一斗缶が入っている建物は多数見ることができた。しかし、バスの中からの観察であり、一斗缶が入っている建物だけが崩壊しているのか、そうでない建物も崩壊しているのかといったことはわからない。

中山路三段の途中に、埔里酒廠がある。これは、紹興酒の代表的なメーカーで、道路の南側が（おそらく）事務所等、北側が工場になっており、道路をわたる中廊下で東西の建物がつながっている。このうち、北側にある工場が大きな被害を受けていた（写真-5.2.4）。地震後相当に時間が経っているにも関わらず、紹興酒のにおいがぷんぷんしていた。

図-5.2.2は、この地域の地質図である。埔里付近は、Q3で示される沖積の地盤であるが、その範囲はおおよそ5~10km 四方の領域で狭い。北西方向には Q2で示される洪積の地盤があるが、これを入れてもそれほど広い範囲ではない。その外側は非常に古い地盤で、新しいものでも中新世の砂岩、頁岩である。つまり、地形から見て、

非常に硬質の地盤の中に、盆地状に新しい層が堆積している。埔里では、前述の様に非常に大きな建物被害が発生しているが、この原因として、このような地形上の特徴があげられると考えられる。すなわち、地震動が増幅しやすい状況になっていること、側方の硬質地盤で波動が反射するため、繰返し数が多くなることなどが考えられる。また、堆積層が盆地状になっているとすれば、1995年兵庫県南部地震の際に見られた震災の帯と同様、周辺の硬質地盤を經由して盆地に伝播した波動と、盆地下部から上昇した波動が重なり合い、大きな地震動になった可能性も考えられる。今後、詳細な被害分布データや地形・地質のデータが集まれば、このような検討も可能になると考えられる。

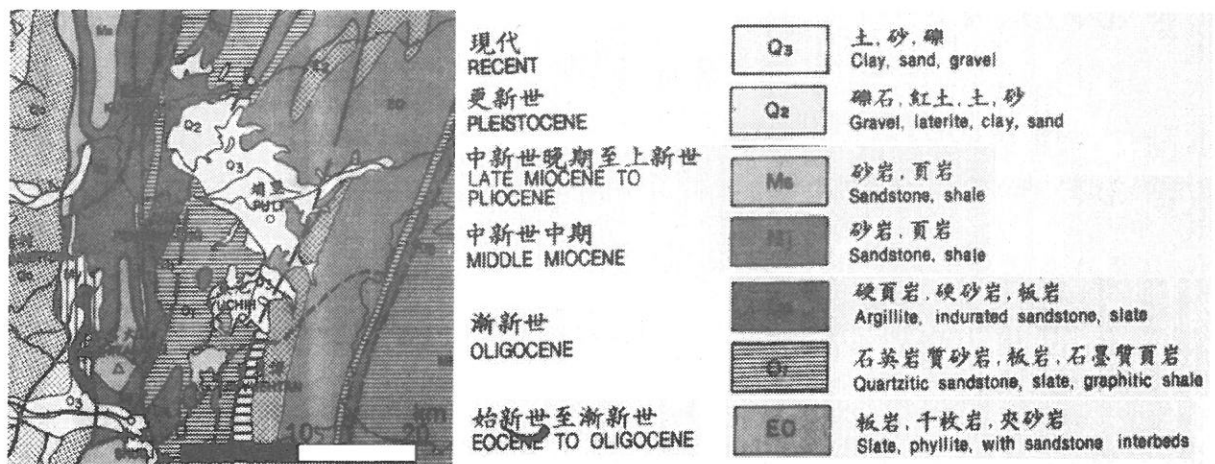


図-5.2.2 埔里付近の地質図

5.3 斜面崩壊

台湾には3,000メートルクラスの急峻な山が連なる中央山脈、雪山山脈、玉山山脈などが中央部にある。降雨量も多いこともあり、過去の地震や豪雨により崖崩れ、山崩れ、土石流を多く発生してきている。今回の地震においても、震央や断層の東側に分布する山々で非常に多くの崖崩れや山崩れが発生した。その規模も小さな崖崩れから、草嶺で発生した約1億2,000万立方メートル(3億5千万立方メートルとの推定もある)にも及ぶ超大規模な山崩れものまでと様々である。これらは震央に近い南投懸、台中懸を中心にして発生した。

大規模な斜面崩壊としては、上述した雲林懸の草嶺、南投懸の九分二山・九九峯などがある。草嶺では山崩れが村をのみこみ、さらに川をせき止めたとのことであるが、本調査団はこの場所に訪れることは出来なかった。聞くところによると、崩壊の幅約4km、長さ約4kmとのことである。そして、約1億2,000万立方メートルといった崩壊土量は、1984年長野県西部地震で大崩壊を起こした御岳崩れの約3~4倍に相当する。なお、この草嶺では1941年の嘉義地震の際にも大崩壊が発生していた。

本調査団は九分二山と九九峯については遠景ではあるが、その崩壊状況を見ることができた。写真-5.3.1に九九峯の写真を示す。九九峯は礫が主体と思われる山が連なっており、すべり深くはないが、全山が禿げ山になったように崩壊していた。一方、九分二山は深さ約100mにも及ぶ大崩壊が発生し、10名が犠牲になったとのことである。ここは頁岩からなり、流れ盤であったようである。

以上のような大規模な斜面崩壊だけでなく、当然、小規模な崩壊が至る所で発生していた。本調査団が調査の途中に見ただけでも、集集から水里、魚池から国姓といった道路沿いの斜面が多く崩壊していた。写真-5.3.2に水里で見られた斜面崩壊を示す。

このような斜面崩壊によって道路や建物が被害を受けただけでなく、山中に建てられていた送電

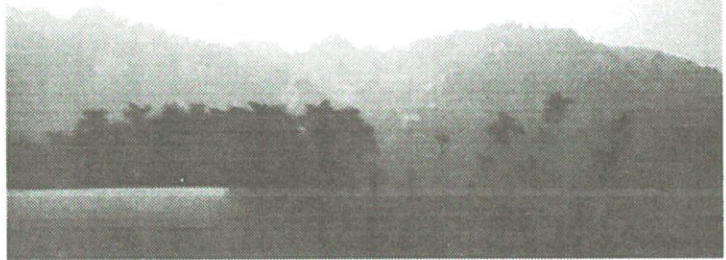


写真-5.3.1 九九峯の斜面崩壊状況

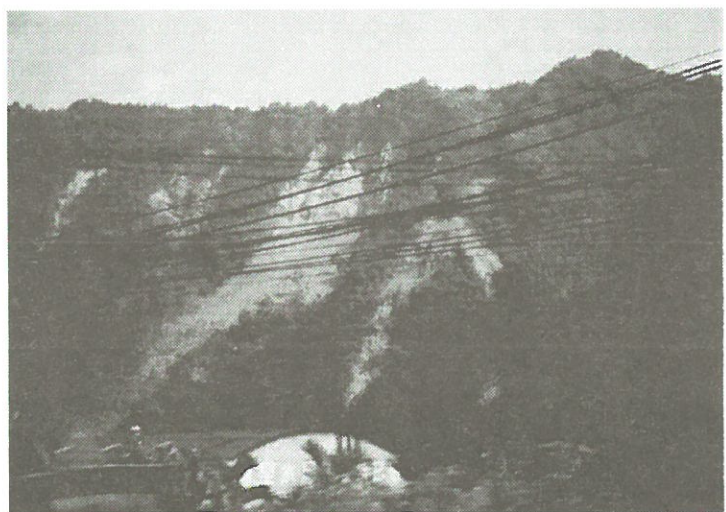


写真-5.3.2 水里での斜面崩壊状況

鉄塔も倒壊等の大きな被害を受けたとの事である。ただし、そのような被災箇所へは時間的な制約から行くことは出来なかった。

6 台中港の被害

台中港の第三岸壁で、護岸及びその背面の地盤変状について調査を行った。

写真 6.1.1 に護岸背後地盤の変状の様子を示す。護岸背面にある排水ダクトの後ろ側では 80cm 程度沈下していた(写真左)。また数箇所直径数 m~5m 程度の陥没がみられ、その中には噴砂が見受けられた(写真右)。

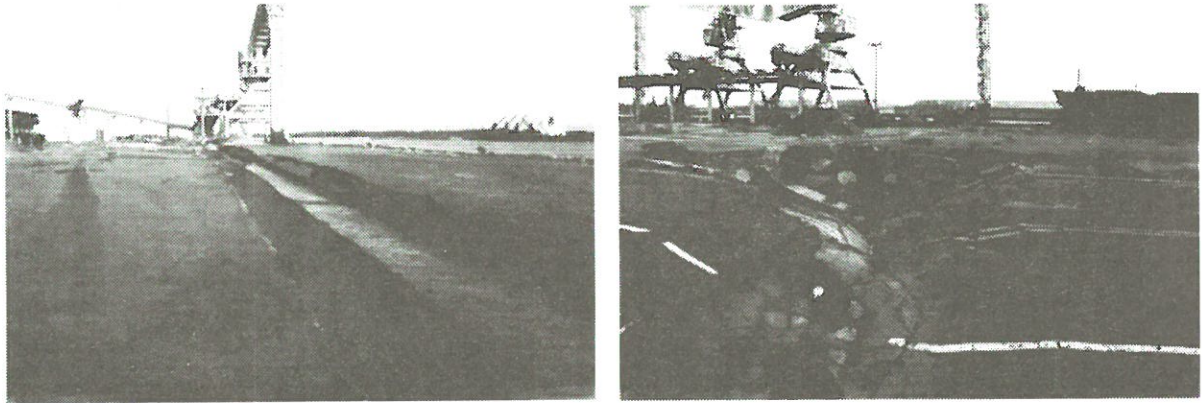


写真-6.1.1 護岸背後地盤の変状

一個所で、クラックの幅や段差等、護岸背後地盤の変状を計測した。護岸の断面図及び計測結果を図-6.1.1, 6.1.2 に示す。クラックの幅を足し合わせると約 50cm となった。しかしこの周辺の護岸近傍を見て回ったが、はらみ出しを確認することはできなかった。一方、台湾大学の陳教授の話では、平均変位量 1.0m、最大水平変位量 1.6m、ケーソンの傾きは頂部が前面に 1~3 度傾いたとのことであった。

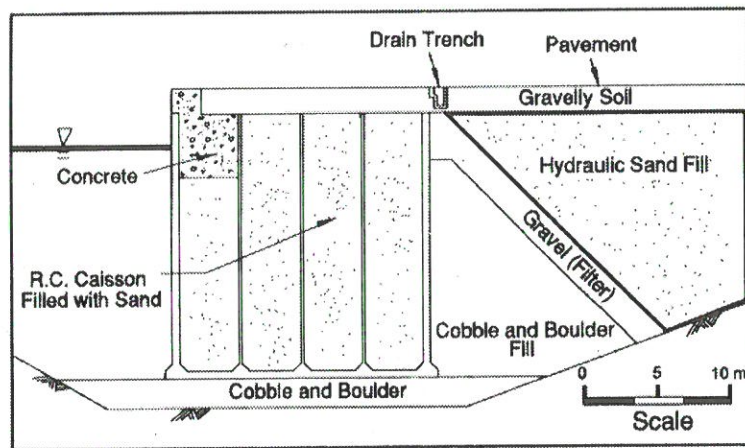


図-6.1.1 ケーソン断面図

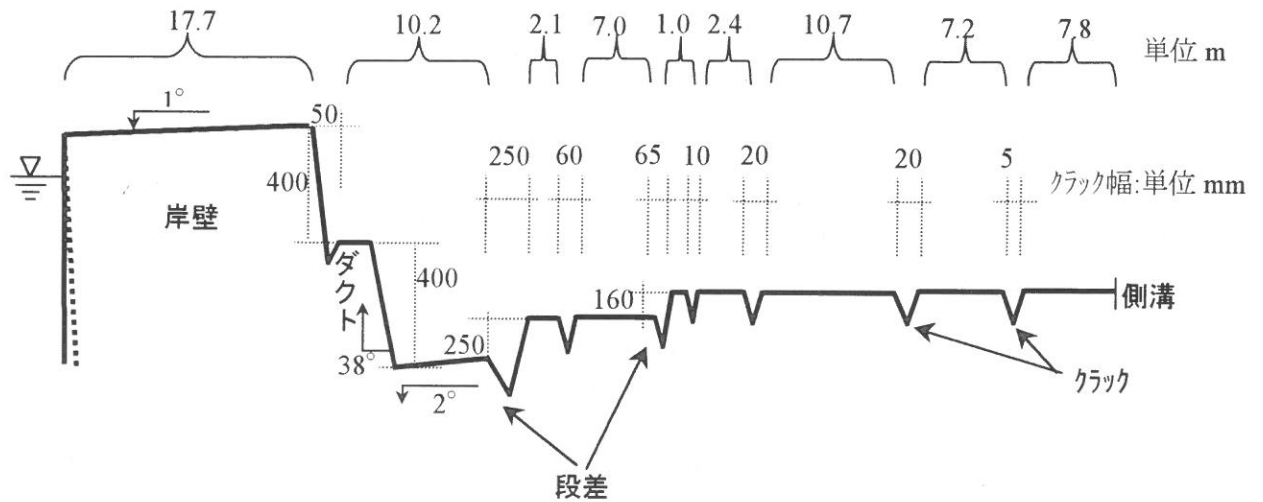


図-6.1.2 第三号岸壁のクラック発生状況

陥没穴から持ち帰った噴砂の粒度試験を行った結果、砂 84.8、シルト以下 15.2%とシルト分を含む砂であった。これに合わせて、今回の調査でこの他 3 つの調査地点において採取した噴砂の粒度試験結果の一覧を表-6.1.1、図-6.1.3 に示す。

表-6.1.1 粒度試験結果一覧

	軍功橋	員水路(員林)	南興街(員林)	台中港
土粒子の密度 g/cm^3	2.753	2.780	2.789	—
レキ分 (2~75mm) %	0.0	0.0	0.0	0.0
砂分 (75 μm ~2mm) %	74.8	87.6	30.8	84.8
シルト分 (5~75 μm) %	21.0	9.1	60.6	}15.2
粘土分 (5 μm 未満) %	4.2	3.3	8.6	
均等係数 U_c	5.59	4.03	8.60	—
曲率係数 U_c'	1.84	1.63	2.22	—
50%粒径	0.1406	0.1708	0.0481	0.1650

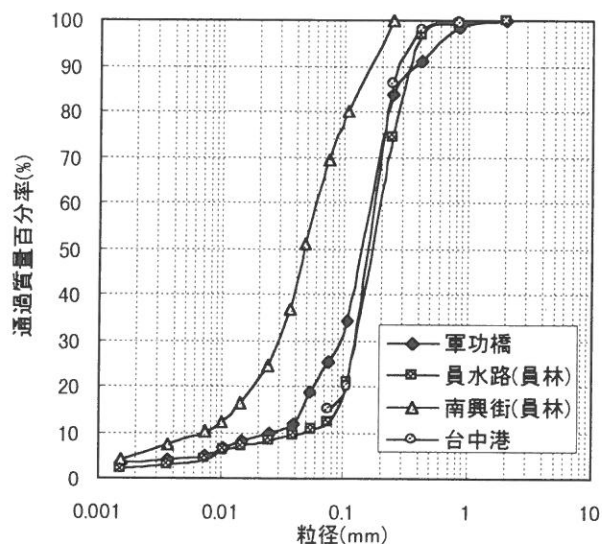


図-6.1.3 粒径加積曲線

また写真-6.1.2 に示すように、スロッシングによるタンク被害も見受けられた。内容物は、付近に散乱した液体から、粘性の高いシロップと推定される。地震後かなりの時間が経過していたにもかかわらず甘い匂いを発していた。

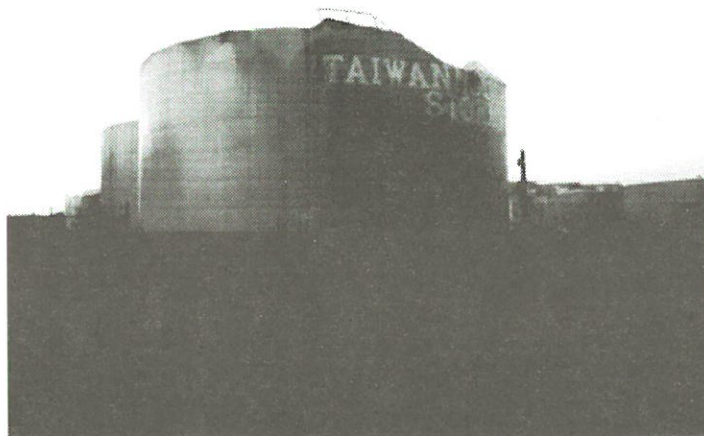


写真-6.1.2 スロッシングによるタンク被害

発行 2000年3月

(財)地震予知総合研究振興会

東京都千代田区猿楽町1-5-18 千代田本社ビル8階

電話 03(3295)5344

