



## 2.2 周辺活断層

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。今回の地震は、その内の一つである「車籠埔断層」が動いたことによる内陸直下型地震である。この断層の存在は以前から知られており、起震断層として近い将来に地震発生の可能性があるとの指摘が為されていたようである。

今回の集集地震の震央と車籠埔断層の位置関係および他の主要な活断層を図-2に示す。

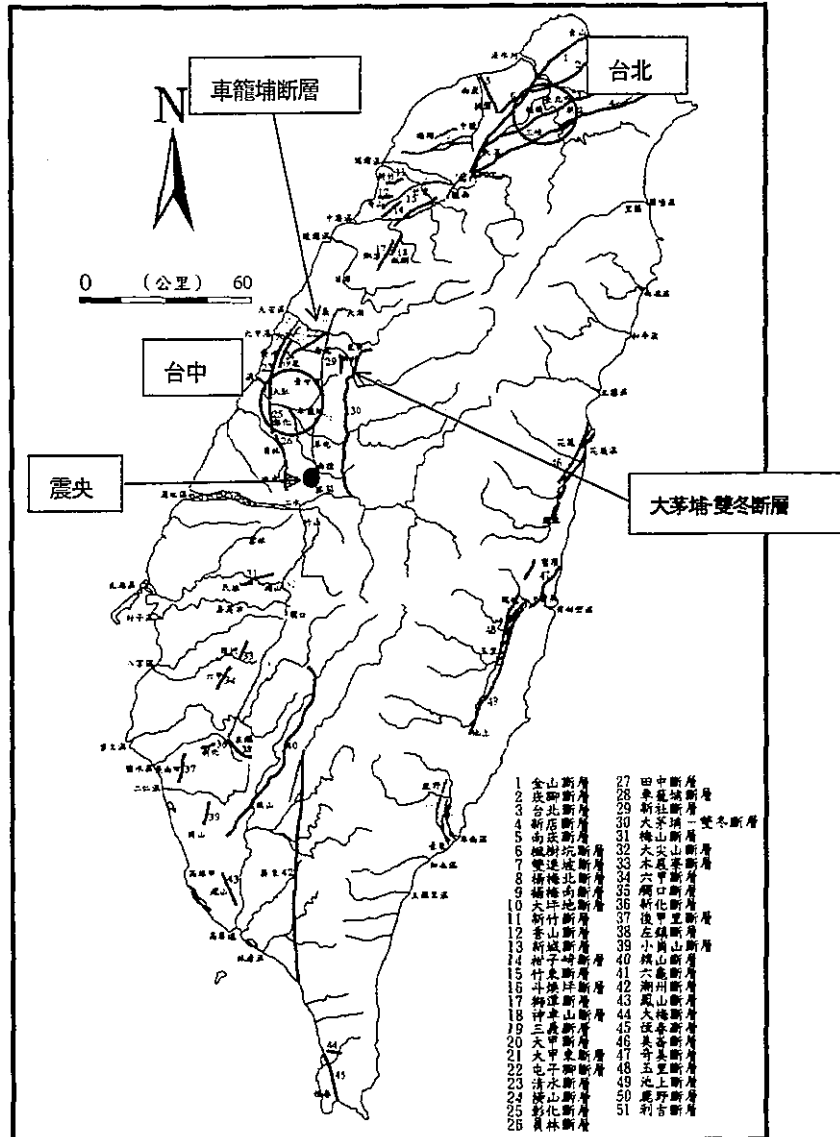


図-2 震央と活断層の位置関係

## 2.3 強震記録

集集地震による強震記録は数百箇所で行われており、そのデジタルデータは台湾中央気象局より公開されている。このデータによると、集集地震本震による最大加速度は震央の東側で、日月潭という湖の近傍で観測された  $A_{max}=989gal$  (EW 成分) である。ただし、この記録は地形の影響（尾根部に設置）を受けて、大きく応答したとの指摘もある。

代表的な地点における地表面の加速度波形を図-3に示す。特徴的なことは、震源から北側の強震記録には長周期成分が含まれているのに対して、南側の強震記録には短周期成分が卓越して現れており、断層破壊メカニズムの解明に役立つ情報を含んでいると考えられる。

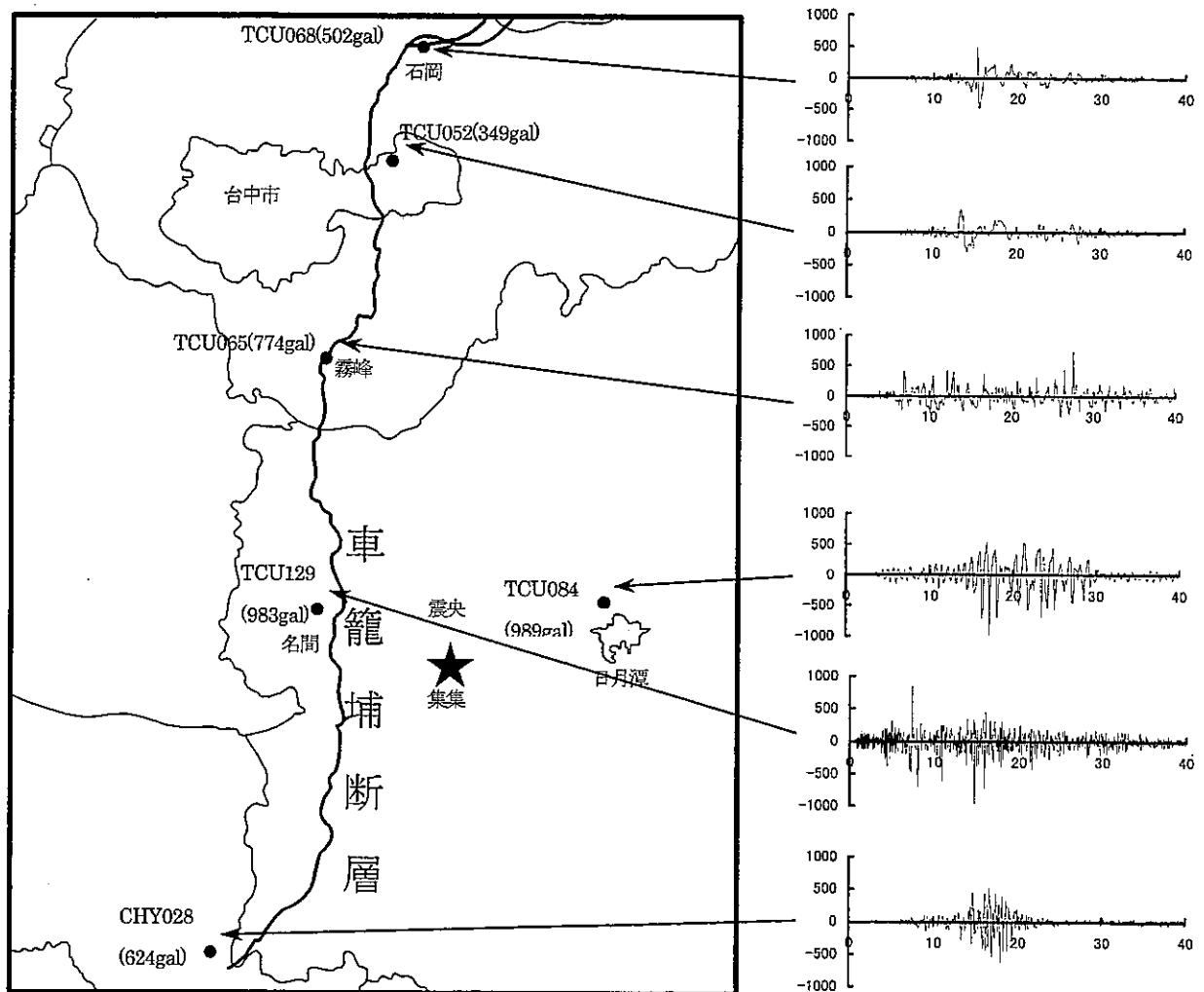


図-3 代表的な地点の地表面加速度波形

### 3. 被害の概要

今回の被害調査は、台湾中部の台中市を拠点に図-4 に示す経路で行った。本報告では、調査経路周辺の橋梁や建築物の被害及び、断層露頭などの地盤変状に着目して、代表的なものについて概要を報告する。

#### 3.1 橋梁の被害

今回の調査では、表-1 に示す橋梁について被害調査を行った。表-1 の情報は、現地において目視ないしはヒアリングで確認できた範囲のものであるため、正確さに欠ける部分があると思われる。なお、表-1 の損傷程度 A、B、C は我々の独自指標として示したものであり、橋梁ごとの相対的な損傷の程度をおおむね把握する上で役立つ程度のもので理解していただきたい。

##### 損傷程度

- ・ A：橋梁全体で落橋および橋脚損傷
- ・ B：橋梁の一部で落橋および橋脚損傷
- ・ C：上部工および橋脚の軽微な損傷

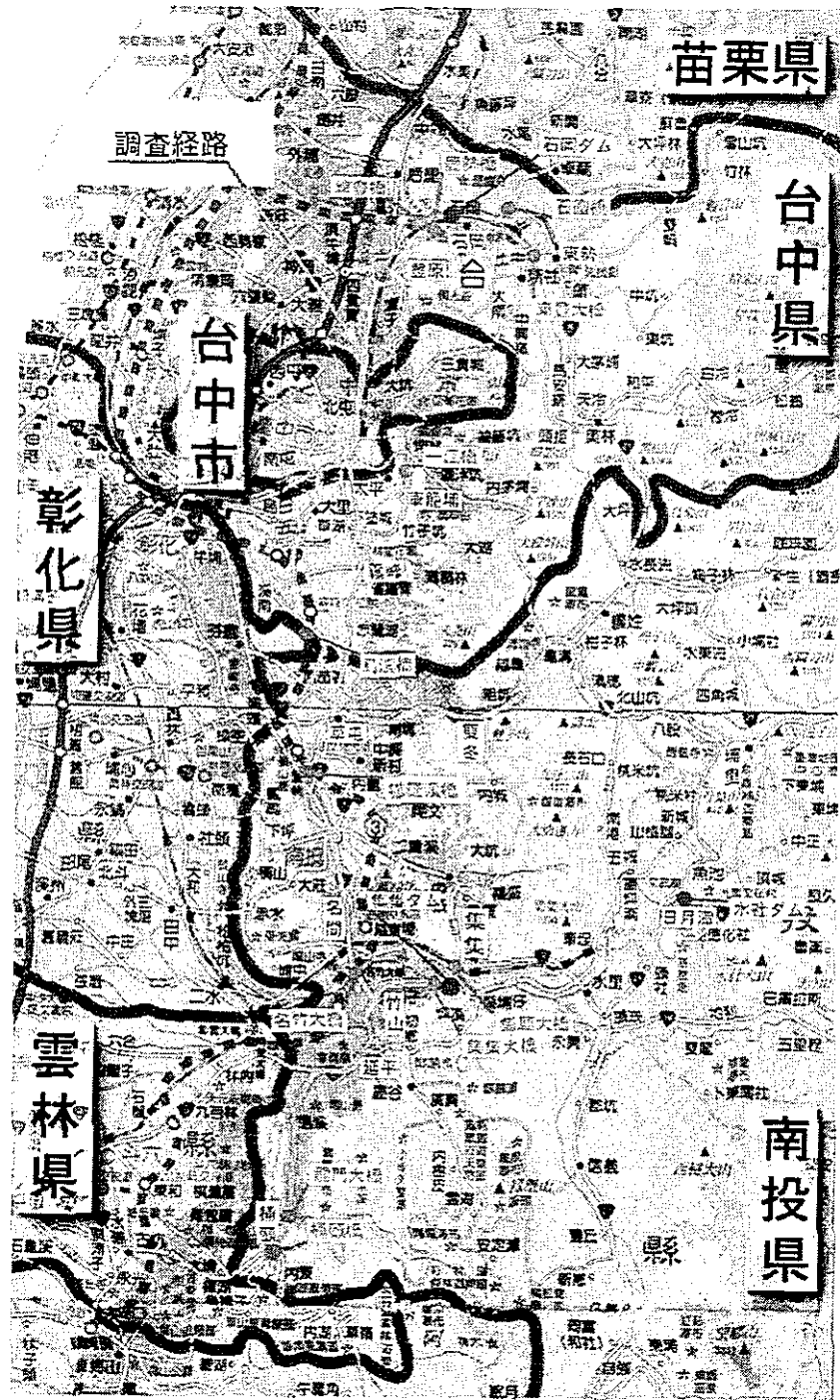


図-4 今回の調査経路と代表的被害構造物の場所

表-1 被害橋梁の諸元

橋梁名	路線名	橋長	径間数	上部工形式	下部工形式	基礎形式	竣工年	橋軸方向	損傷程度	架橋位置	備考
石圍橋	省道3号	60m程度	3	単純RCI桁	壁式(小判)	ケーソン	1994	N40W~N60W	A	東勢鎮	
一江橋	台中縣道129号	200m程度	19	単純RC版桁	壁式(小判)	ケーソン	不明	N50W	B	太平市	
烏溪橋	省道3号	750m程度	17	単純PCT桁	壁式(小判)	ケーソン	1983 1985	N20E	B	霧峰郷~草屯鎮	上下線分離
桶頭橋	南投縣道149号	40m程度	4	単純RCI桁	単柱式(円形)	ケーソン	不明	N30E	A	竹山鎮	
卓豊橋	省道3号~	300m程度	13	単純PCI桁	壁式(小判)	ケーソン	1991	N	B	東勢鎮~豊原市	

## (1) 石圍橋

### 1) 概略橋梁諸元

- ・ 上部工形式は上下線分離の3径間単純PCI桁形式の曲線橋で、支承形式は目視確認できなかったが、ヒアリングしたところゴムパッドとのことである。
- ・ 橋脚形式は小判型壁式で、高さは10m程度以上(目視想定)である。また、基礎形式はケーソンであると思われる。

### 2) 被害概要

- ・ 左岸下流側の2スパンおよび左岸上流側の1スパンがそれぞれ落橋した(写真-1)。
- ・ 左岸側橋脚のケーソン基礎には、主に橋軸方向に著しい傾斜が発生していたが、橋脚の損傷は目視では特段確認できなかった(写真-2)。
- ・ 左岸側橋台の前面側への倒れや、はらみだしが確認できた。一方、右岸側の橋脚と橋台には目視による損傷等は確認できなかった。
- ・ 本橋は今回の地震で活動したとされる車籠埔断層の終点部分にあたると考えられ、はっきりとは確認できなかったが、橋梁の周辺状況から判断すると左岸側橋台と橋脚との間に断層活動に伴う地表面の段差等の地盤変状が発生したものと推察される。

### 3) 現況と復旧

- ・ 調査時は、上流側に河川横断盛土を構築して迂回路を確保し、河川水流はその道路用の盛土中にコルゲート管を設置して流下させていた(写真-3)。
- ・ 復旧後の状況を写真-4(TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING, Vol.27 No.7, JAN 2001より引用)に示す。

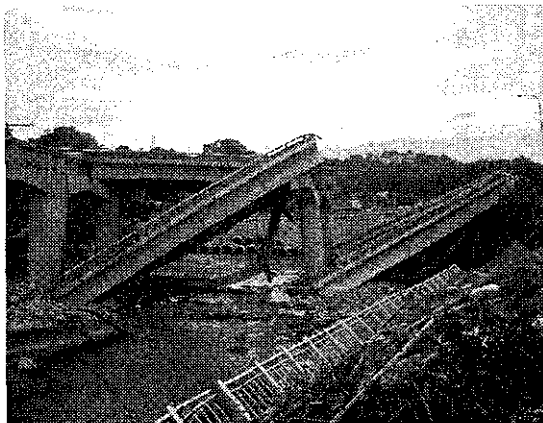


写真-1 石圍橋 落橋の状況(下流側より)

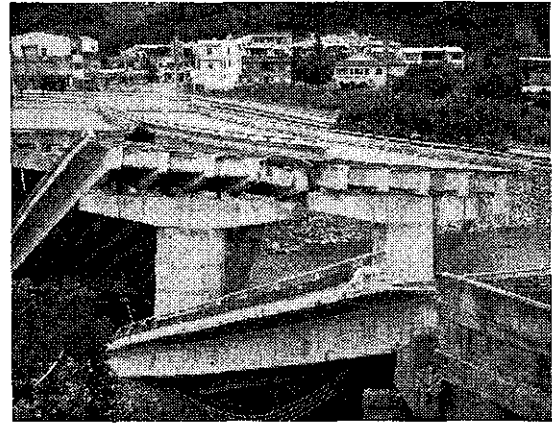


写真-2 石圍橋(左岸側より)

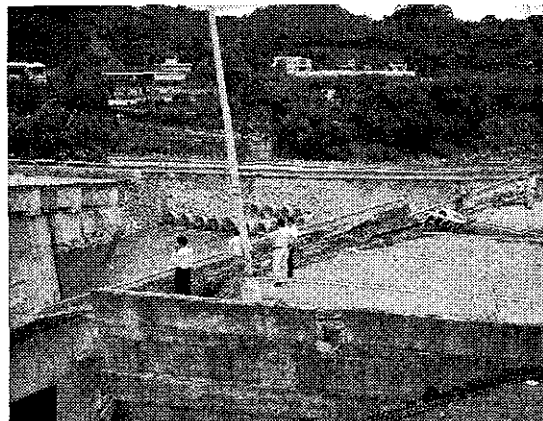


写真-3 石圍橋 上流側に設けられた迂回路



写真-4 復旧後の石圍橋

## (2) 一江橋

### 1) 概略橋梁諸元

- ・ 上部工形式は径間長 10m 程度（目視想定）の 19 径間単純 PC 版桁、橋脚形式は小半型 RC 壁式である。また、基礎形式はケーソンであると思われる。
- ・ 既設橋はかなり古いものと思われ、この橋梁の両側（上流・下流側）に新設の 6 径間単純形式橋梁を施工中であった。ただし、新設橋の桁は調査時には施工されておらず、RC 橋脚が立ち上がった状態であった（写真-6）。

### 2) 被害概要

- ・ 既設橋梁中央部の右岸側橋台から 8～9 径間が落橋し、ケーソン基礎の転倒がみられた（写真-5）。
- ・ 新設橋梁の右岸側より 1 番目と 2 番目の橋脚天端が橋軸方向川心側に傾斜した。一方、既設橋梁の右岸側より 2 番目と 3 番目の橋脚の間に断層が現れていた。

### 3) 現況と復旧

- ・ 調査時は、落橋した橋梁の上流側に応急的な盛土を施し通行を確保しており、橋の上流側に仮栈橋を施工中であった（写真-5）。
- ・ 復旧後の状況を写真-8（TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING, Vol.28 No.1, July 2001 より引用）に示す。

### 5) 一江橋周辺の地盤変状

- ・ 本橋の右岸側橋台の裏側（橋台から数 10m の距離）に、北東-南西方向の L 字型をした高さ 4～5 m 程度（目視想定）の断層面が露頭していた（写真-7）。
- ・ 一江橋の上流側 1 km 程度の山腹斜面に数百 m 規模の地すべりが見られ、崩壊した土砂は河川にまで達していた。ただし、地すべりは必ずしも断層変位に起因していないようである。

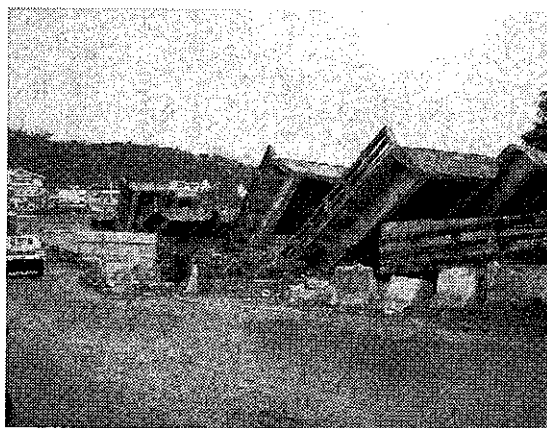


写真-5 一江橋 落橋の状況(右岸側より)

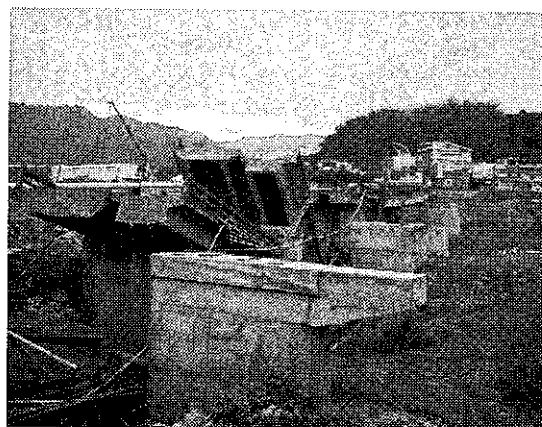


写真-6 一江橋 手前は新設橋、奥は既設橋梁



写真-7 一江橋近くの地表目に表れた断層面

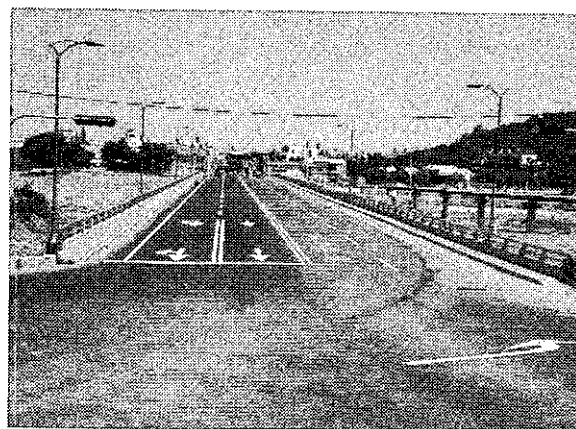


写真-8 復旧後の一江橋

### (3) 烏溪橋

#### 1) 概略橋梁諸元

- ・ 上部工形式は17径間単純PCT桁（上下線分離構造）で、上流側橋梁は1983年竣工、下流側橋梁は1985年竣工である。
- ・ 支承形式はゴムパッドタイプ、橋脚形式は小判型RC壁式、基礎形式はケーソンである。

#### 2) 被害概要

- ・ 右岸側橋台から2番目と3番目の橋脚の間に高さ1m程度の断層崖が現れていたため、上流側橋梁の右岸側から2径間部分が落橋したと推察された（写真-9）。
- ・ 下流側橋梁は落橋を免れたものの、壁式橋脚にせん断破壊が生じていた（写真-11）。
- ・ 橋脚のせん断破断面では主鉄筋の破断も見られ、破断断面の形状から判断すると鉄筋自体のねばりがほとんどない損傷形態のように推察された。
- ・ 壁式橋脚のコンクリート打ち継ぎ目部において、材料品質および施工不良が原因と考えられる上下ブロックの分離が認められた（写真-12）。
- ・ 河川の洗掘によってケーソン基礎が露出しており、そのケーソン基礎の頂盤付近にせん断クラックが認められた。

#### 3) 現状と復旧

- ・ 調査時は、本橋下流側の橋梁が健全状態であったため、当面の通行量の確保は可能との判断から特段の緊急的復旧活動は行われていなかった。



写真-9 烏溪橋 上流側橋梁の落橋



写真-10 烏溪橋 支承部の損傷状況

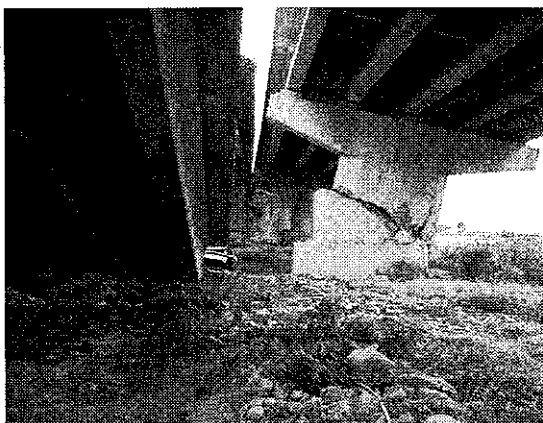


写真-11 烏溪橋 壁式橋脚のせん断破壊

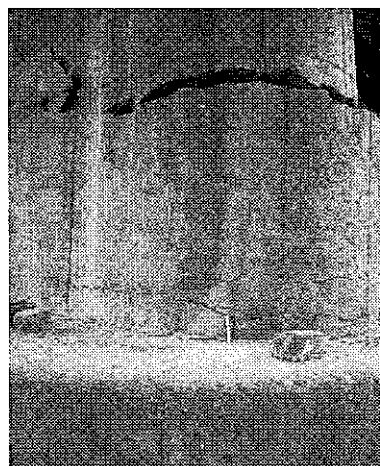


写真-12 烏溪橋 橋脚打ち継ぎ目部の分離



#### (4) 桶頭橋

##### 1) 概略橋梁諸元

- ・ 上部工形式はスパン長 20m程度（目視想定）の4径間単純PCI桁である。
- ・ 橋脚形式は円形型RC単柱式であり、基礎形式はケーソンと思われる。

##### 2) 被害概要

- ・ 4径間の全ての桁が落橋し、橋脚の中間部から梁に渡ってせん断崩壊と思われる大きな損傷が発生していた（写真-13）。
- ・ 右岸側橋台の前面壁に損傷あり、橋台背面盛土のはらみだしが確認された（写真-14）。

##### 3) 現況と復旧

- ・ 調査時は、橋梁の下流側に仮橋を敷設して交通を確保していた（写真-15）。
- ・ 復旧後の状況を写真-16（TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING, Vol.27 No.12, JUN 2001 より引用）に示す。

##### 4) 周辺地盤の変状

- ・ 地震断層南端（觸口断層）に位置し、第三紀末（鮮新世）の泥質軟岩層に北東南西方向の高角度断層破碎帯（幅数十m）が見られ橋台部に交差していた。
- ・ 明確な断層変位はとらえにくいですが、地震時に複雑な動きをしたことは想定できる。

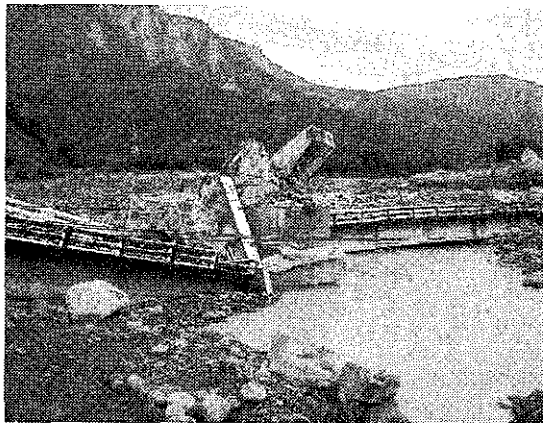


写真-13 桶頭橋 4径間全て落橋



写真-14 桶頭橋 橋台背面盛土のはらみだし



写真-15 桶頭橋 下流側に仮橋を設置

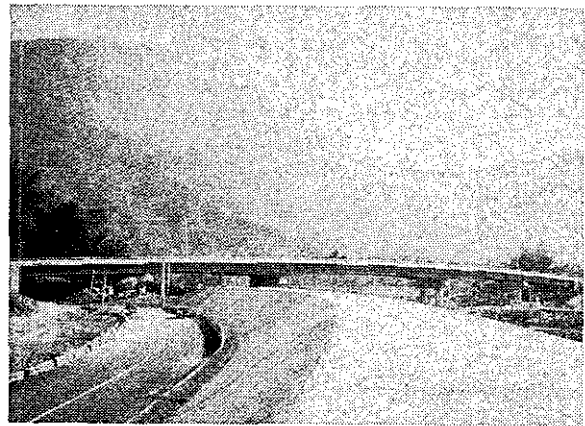


写真-16 復旧後の桶頭橋



## (5) 卑豊橋

### 1) 概略橋梁諸元

- ・ 上部工形式は径間長 40m程度の 13 径間単純 PCI 桁、橋脚形式は小判型 RC 壁式、基礎形式はケーソンである。
- ・ 河床に第三紀の新しい年代の岩盤が露頭している。

### 2) 被害概要

- ・ 橋台部の断層の隆起により、左岸側から 3 径間分が落橋したと考えられる (写真-17)。
- ・ 橋軸方向はほぼ南北方向であり、橋梁を横切るように N20E の方向に断層が露頭していた。また、この断層の露頭により川に高さ 6 m～7 m程度の滝が出現している(写真-17)。
- ・ 基礎の近傍に断層が現れ足元がすくわれるような格好でケーソン基礎が転倒しており、これによって PC 桁が落橋したものと思われる (写真-19)。なお、橋脚の損傷はほとんど目視で確認できなかった (写真-18)。

### 3) 現状と復旧

- ・ 幹線ではないこともあり、調査時には特段の緊急的な対応はとられていなかった。
- ・ 復旧後の状況を写真-20 に示す。

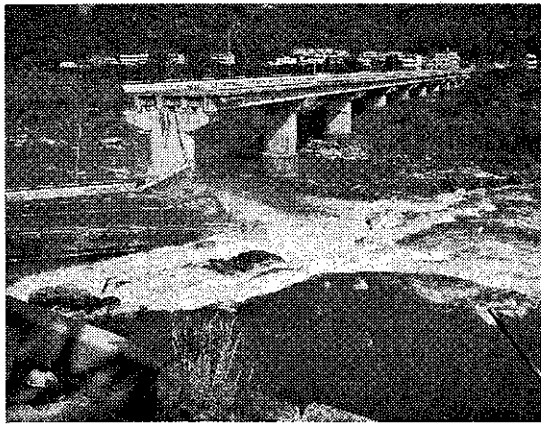


写真-17 卑豊橋 断層の露頭により滝が出現

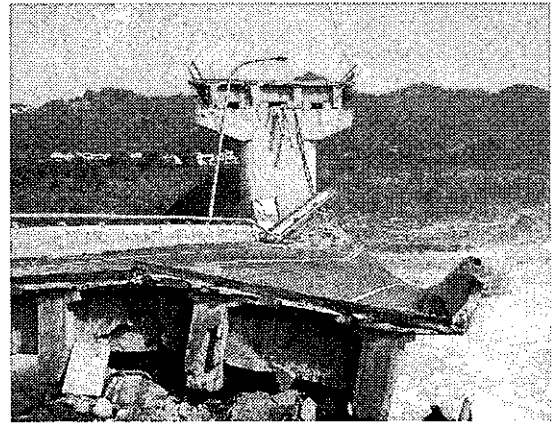


写真-18 卑豊橋 橋脚の損傷は見受けられない



写真-19 卑豊橋 ケーソン基礎の転倒

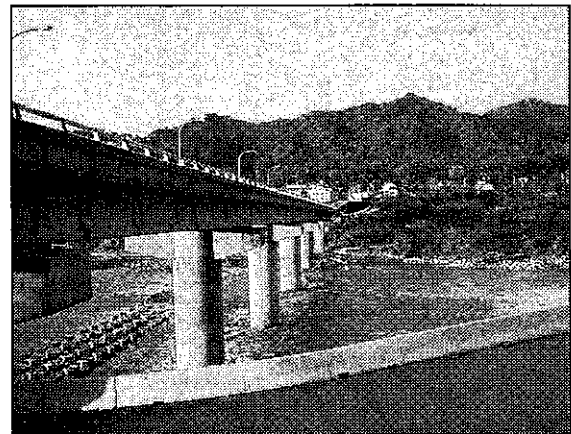


写真-20 復旧後の卑豊橋

## 3.2 建築物の被害

### (1) 太平市内の代金天仙宮府、靈光塔

#### 1) 周辺地盤変状

- ・ 代金天仙宮府へ上る坂は車籠埔断層沿いの丘陵末端斜面で、路面には南北性の亀裂面が現れ一江橋の断層に連続している。
- ・ 宮内の建造物は倒壊が激しいため既に解体が進んでいた(写真-21、写真-22)。特に、斜面上の盛土地盤では八角形の楼閣の倒壊が目立った。

#### 2) 構造物被害 (RC 構造のお宮)

- ・ ラーメン構造物の柱端部に被害が集中している。ただし、柱上端では山側面にかぶりコンクリートの剥落、柱下端では谷側面にかぶりコンクリートの剥落が見られることから、地震動による繰り返し荷重を受けたような損傷ではないように思われた(写真-23、写真-24)。
- ・ すなわち、トップヘビー構造であることと傾斜地形であることから最初に谷側に変形してそれが永久変形として残ったことが考えられる。また、住民へのヒアリングによれば断層の近傍周辺では地盤震動はそれほど卓越しなかったとのことであり、静的な？荷重を受けた可能性も考えられる。



写真-21 代金天仙宮府 建物の倒壊

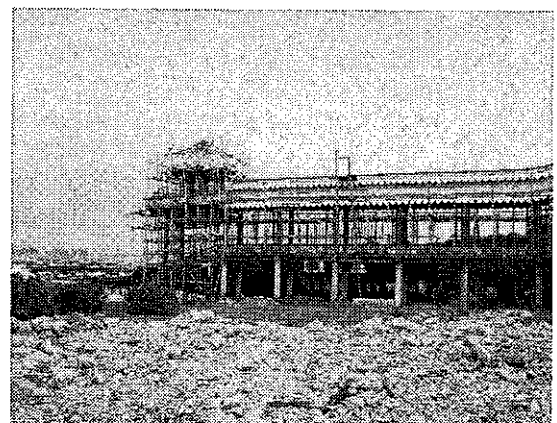


写真-22 代金天仙宮府 解体状況



写真-23 代金天仙宮府 ラーメン構造の損傷

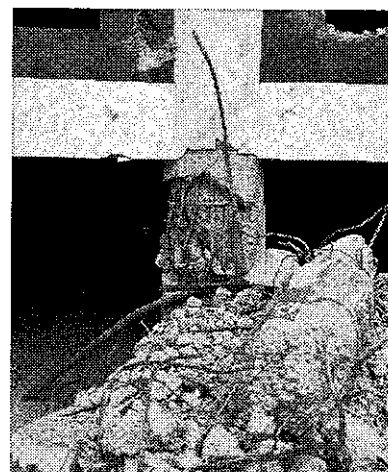


写真-24 代金天仙宮府 柱端部の損傷

### 3.3 断層の露頭

#### (1) 霧峰郷総合運動場およびその周辺

- ・ 当該地は山間の河川沿いの沖積低地に位置しており、川を斜めに横断する方向に2m程度の断層崖が現れ、運動場を斜めに横切っていた（写真-25）。このため、運動場のあらゆる所に15cm程度の地割れが発生していた。
- ・ 断層上盤側直近の運動場メインスタンドの構造物には目立った損傷はまったく見られず、断層面を跨いでいない建物には被害は発生しなかったものと推察される（写真-26）。一方、断層が構造物の直下に現れ断層を跨ぐような校舎や家屋等には、段差が原因となった大きな被害（ほぼ倒壊）が見られた。

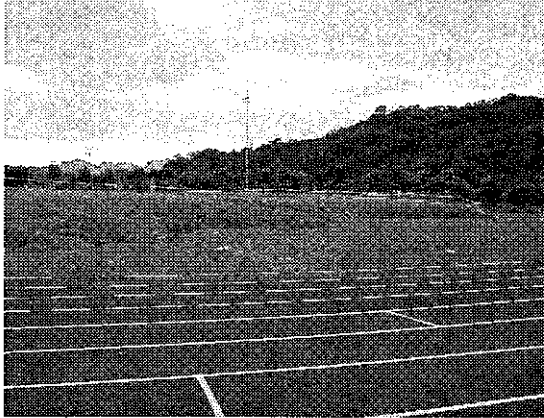


写真-25 霧峰郷総合運動場 断層の露頭

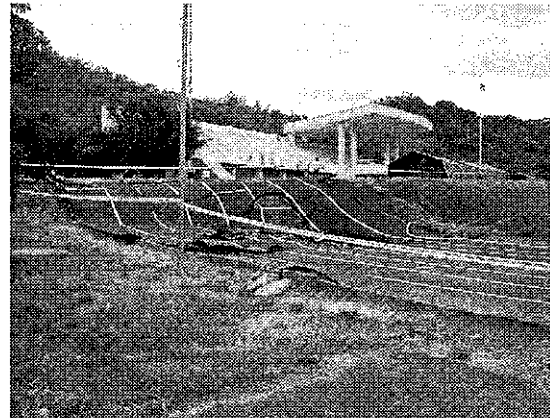


写真-26 奥の観客席に損傷は見受けられなかった

#### (2) 車籠埔

- ・ 断層変位は垂直5~6mと観察され、これに伴い規模の大きな地すべりが発生した（写真-27）。
- ・ 断層周辺の道路に断層面と直交する15cm程度の地割れが発生していた。
- ・ 断層近傍の上盤側にあった家屋は山に押されたように転倒し、1階部分が潰れており大きな被害が発生していた（写真-28）。また、上盤側家屋の裏山には多くの段差（50cm~1m程度）や地割れが発生していた（写真-30）。
- ・ 断層の下盤側にあった家屋にはクラックや2°程度の傾きが発生しているものの、崩壊には至っていなかった（写真-29）。
- ・ 住民へのヒアリングの結果、地震時に振動はあまり感じられず、「ヒュー」という音が聞こえたそうである。また、地震動はあまり小さくなく、振動が収まって気が付いたら隣の家の屋根が下に見えたそうである。

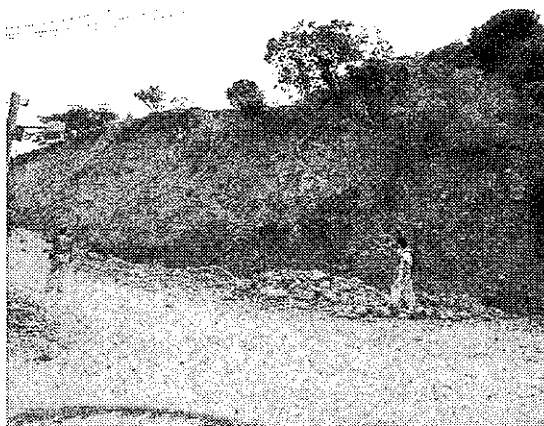


写真-27 車籠埔 垂直5~6mの断層変位



写真-28 車籠埔 断層上盤側家屋の倒壊

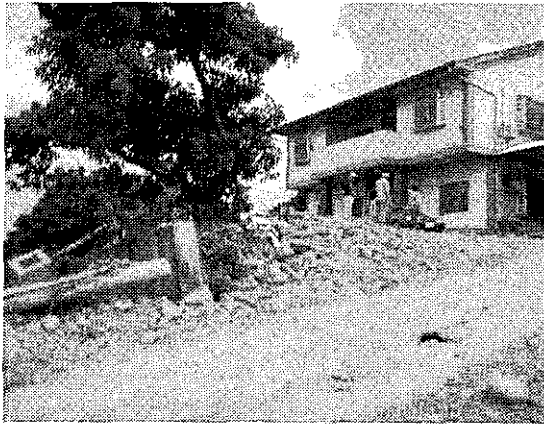


写真-29 車籠埔 断層下盤側家屋は損傷無し



写真-30 車籠埔 上盤側家屋の裏山

### (3) 豊原市と石岡郷の境に現れた断層 (写真-31～写真-32)

- ・ 断層面が田んぼの真ん中を貫いており、数本の段差や地割れが観察できた (写真-31)。また、逆断層により奥の方の地盤が上昇し、高さ8m程度の断層が露頭していた (写真-32)。なお、この断層は卑豊橋に現れた断層に連続しているようである。
- ・ 断層下盤側での建物被害はほとんど発生していおらず、上盤側でも住居が傾いた程度で倒壊には至っていなかった。しかし、断層を跨ぐ構造物には倒壊に至る甚大な被害が発生していた。
- ・ 断層上盤側の居住者によれば、横揺れの後縦揺れがあり、おさまって外に出た時に地盤が隆起していることに気が付いた。振動は椅子が倒れる程度で、家具は壁の支えもあり倒れなかったらしい。



写真-31 石岡郷の露頭断層



写真-32 露頭断層(地震前は段差はなかった)

## 4. おわりに

今回の集集地震は活断層による直下型地震であり、震源が浅かったため大規模な断層面が地表面に現れた。橋梁構造物の被害は、断層変位や地盤変状のために足元である基礎から倒壊したものが多く見られた。すなわち、断層直上の構造物の被害は大きいですが、露頭した断層から数メートル～十メートル程度でも離れてしまうと被害は小さくなる傾向も見られた。このように、今回の集集地震は、地震動による慣性作用がもたらした被害より、地盤が大きく移動したことで構造物が倒壊するといった被害が目立った。地盤が大きく移動することに対する耐震設計上の対応 (橋梁構造物を念頭に置くと) は、断層位置の正確な特定とその移動量の推定が極めて困難であり、単に構造的な対処をすることでは不十分と考えられ、今後は機能性と安全性が損なわれる可能性を考慮した防災計画の重要性がさらに高まるものと考えられる。

最後に、本調査を実施する上でご協力頂いた、社内外の関係各位に改めて謝意を表するものである。「謝謝」