

# 報告 台湾大地震による RC 橋脚被害調査

幸左賢<sup>\*1</sup>・山口栄輝<sup>\*2</sup>・永瀬英生<sup>\*2</sup>・廣岡明彦<sup>\*2</sup>

**要旨:** 集集大地震によって被害を生じた3橋の代表的橋梁の被害調査分析を実施した。その結果、烏溪上流側橋は橋脚間距離の減少により、また長庚大橋では地震動により、桁が玉突き現象を起こし、隣接桁が落橋に至っている。烏溪下流側橋は壁式橋脚の直角方向で抵抗が極めて大きいにも関わらずせん断損傷が生じていた。名竹大橋では、断層による橋脚の倒れおよび地震動によるせん断および曲げ損傷を生じていることが明らかとなった。

**キーワード:** 橋梁, 地震被害, 橋脚, せん断損傷, 集集地震

## 1. まえがき

1999年9月21日、台湾中部で発生した大地震は台中県の周辺部を中心に橋梁にも大きな被害を及ぼした。著者らは地震直後より2回に渡って台中県を中心に橋梁被害調査および詳細測量調査を実施した。本報告は、このうちの特徴的な損傷を生じた烏溪橋、長庚大橋、名竹大橋について、詳細な損傷状況調査から損傷メカニズムを推定したものである。

## 2. 全体被害概要

図-1に全体調査位置図を示す<sup>1)</sup>。大まかな被害の印象としては、台中市内でも一部高層ビルは倒壊しているものの被害範囲は比較的小さく、断層沿いを中心として局所的である傾向が見られた。このうち、橋梁被害の特徴としては次の3つに分類される。

①地震動により橋脚に大きな損傷や落橋を生じている。

東豊大橋・平林橋・長庚大橋など

②橋梁間にずれが認められるとともに、橋梁自身にも損傷が生じている。

名竹大橋・烏溪大橋・一江橋・石圍橋など

③橋脚には大きな損傷は認められず、橋梁間のずれが損傷の主原因と考えられる。

稗豊橋・石岡ダム通路橋など

以上が現地で著者らが直接確認した橋梁で、その他にも多数の落橋・通行止の橋梁が報告されている<sup>2), 3), 4), 5)</sup>。以下に目視および概略寸法計測により橋梁損傷状況を調査した結果を示す。

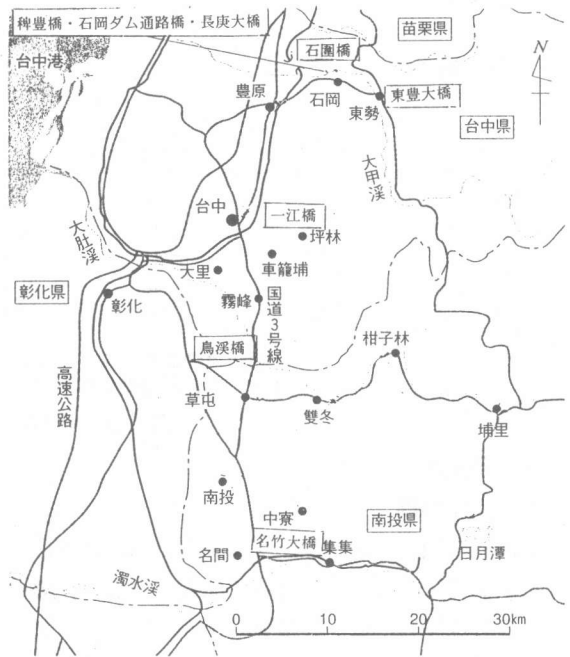


図-1 調査橋梁位置図

\*1 九州工業大学助教授 工学部建設社会工学科 Ph. D. (正会員)

\*2 九州工業大学助教授 工学部建設社会工学科 工博

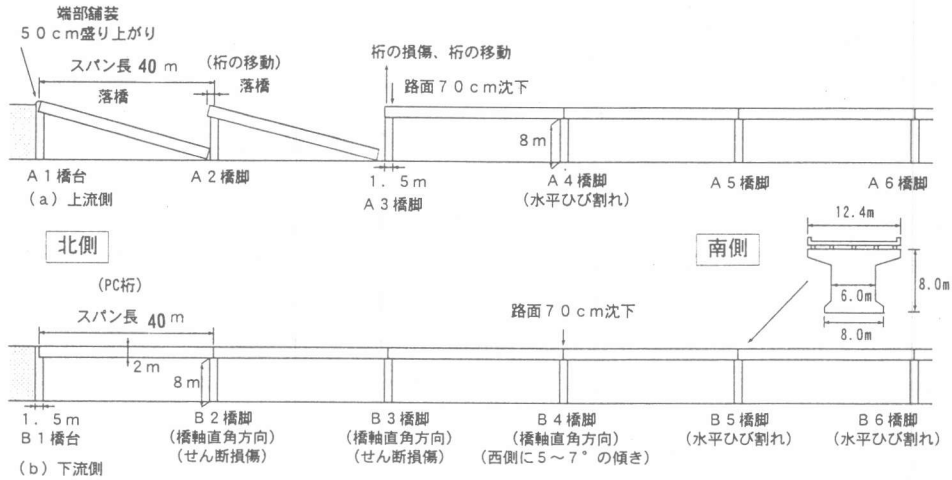


図-2 烏溪橋損傷状況

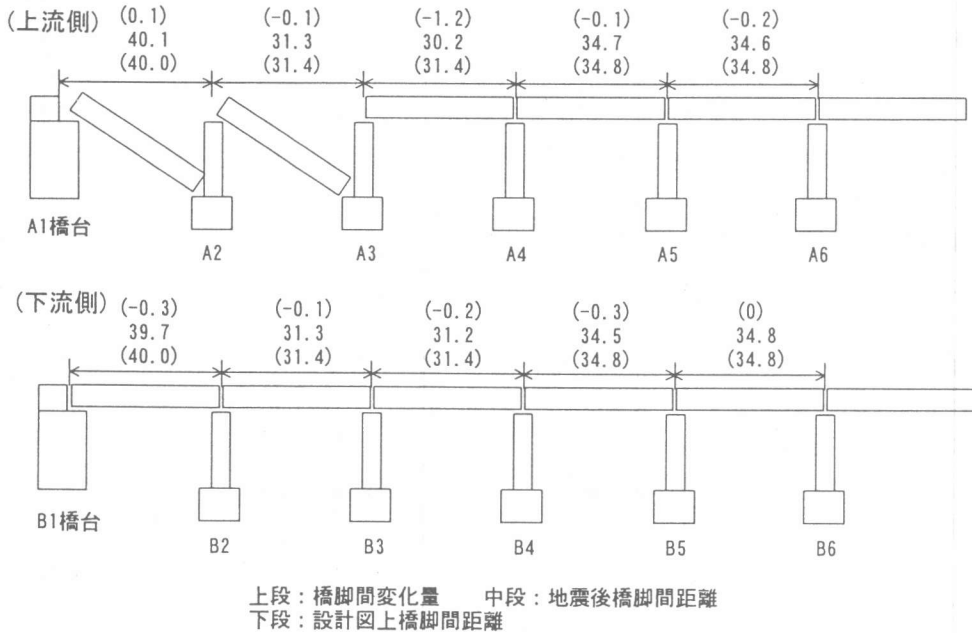


図-3 橋脚間移動量 (単位:m)

### 3. 烏溪橋

#### 3.1 上流側橋

烏溪橋の損傷状況は図-2, -3に示すように、上流側では端部桁が2連落橋するとともに、橋台の端部舗装が50cm程度盛り上がっていた。また、A3橋脚上では、桁端部に衝突と思われる損傷が見られた。図-3に示すように橋脚間移動量を測量結果と当初設計図の比較により求めると、上流側ではA3~A4橋脚間のみが1.2m縮まっている。これに対して下流側では橋脚間の移動

はほとんど認められない。図-4に台湾側で測定された橋脚付近の地盤の変化を示す。それによると、A3~A4およびB3~B4橋脚間を断層が横切っており、橋軸、橋軸直角および鉛直方向にそれぞれ2m程度移動していることになる。上流側のA3~A4橋脚間の移動量1.2mは、地盤の橋軸方向の移動量1.6~1.8mに対応していると考えられる。これに対してB3~B4橋脚間では断層が横切っているにも関わらず、橋軸方向には変位しておらず、地盤変位とは必ずしも対応していな

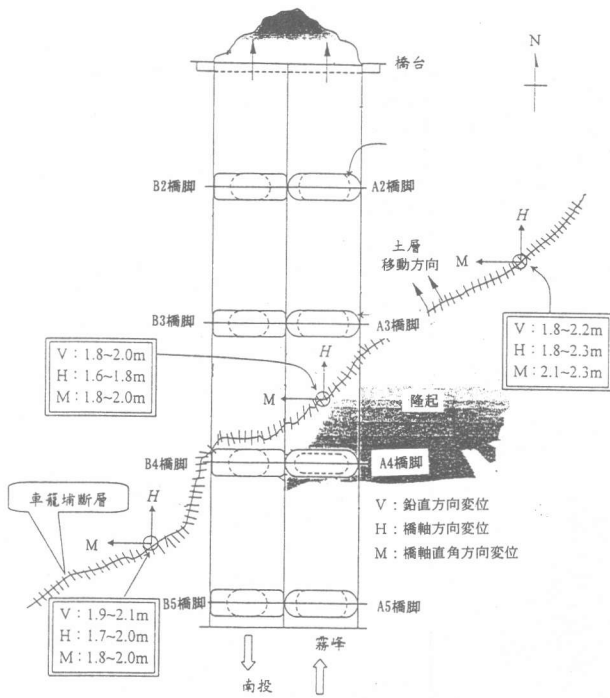


図-4 地盤変状状況

いことになる。以上の測定結果を基にすると上流側の損傷メカニズムは以下と推定される。

- ① A3～A4橋脚間における地盤変形あるいは大きな水平力によりA3桁(A3～A4間の桁)が橋軸北側方向に押し出される。
- ② A3桁がA2桁(A2～A3間の桁)と衝突しA2桁を押し出し、同様にしてA1桁を押し出す。その結果A1桁端部が橋台と衝突し、橋台が損傷するとともに橋梁舗装面が膨れ上がる。
- ③ 北側端部A1桁(A1～A2間の桁)では、移動量が50cmに達し、桁かかり長を超えて、落橋に至る。
- ④ 同様にA2桁の移動が大きく落橋に至る。

### 3.2 下流側橋

下流側の橋脚は、図-5に示すようにB2およびB3の壁式橋脚が橋軸直角方向に大きく損傷しており、ひび割れは貫通していた。B4橋脚では橋脚自体は大きな損傷は認められないものの、基礎部にはせん断損傷が生じ、下流側に5～7°傾いており、路面では70cm程度の沈下が認められた。また、B5、B6橋脚には曲げタイプの水平ひび割れが橋脚中間部で認められた。この部

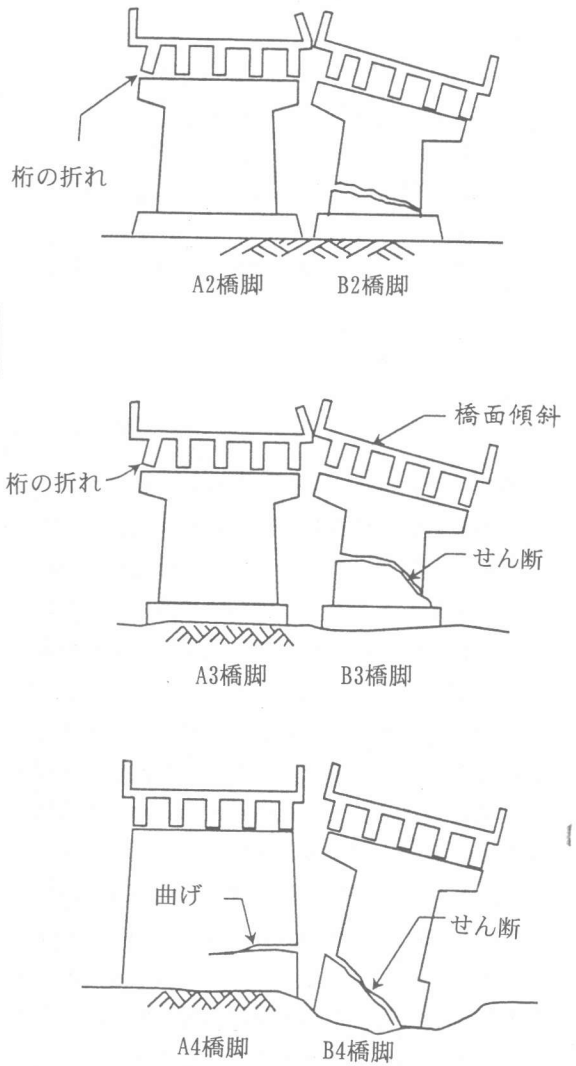


図-5 橋脚損傷状況

分は、コンクリートの打ち継ぎ目である可能性がある。現地調査によると、B2、B3橋脚は1～2m橋軸直角方向に移動しているようにも見えるが、桁には橋軸直角方向の移動は認められない。よって、橋脚基礎のみが1～2m橋軸直角方向に移動したことになる。シュミットハンマーテストではコンクリート強度は29MPa以上は確保されており壁式橋脚のため主鉄筋比が少ないようであったが、特に品質的な問題は見いだせなかった。B3橋脚を例に取り損傷状況を説明すると、断面は6.0x2.0mの壁式であり、主鉄筋はD22が20cmピッチ、帯鉄筋はD13が30cmピッチで配筋されていた。せん断損傷角度は水平方向に対して

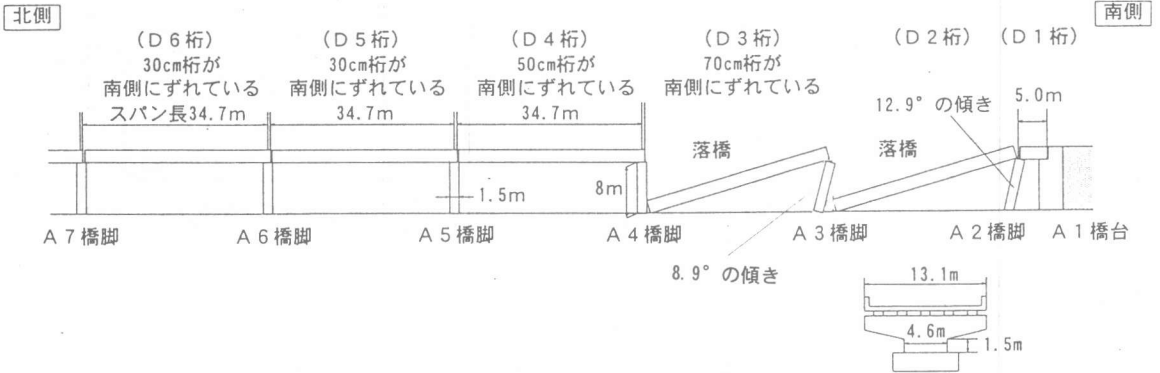


図-6 長庚大橋損傷状況

約 $20^\circ$ であった。主鉄筋がせん断面で破断しているものも認められたが、これは主鉄筋比が $0.3\%$ 程度と非常に小さく、ひび割れが集中して発生することおよびせん断損傷によるずれが生じたためと考えられる。以上の測定結果からは、B2、B3橋脚の損傷原因としては大きな橋軸直角方向の水平力あるいは直角方向への地盤の移動に伴う橋脚変形によるせん断損傷の2種類が考えられる。仮に地震動によるせん断損傷として、等価水平震度を求めると、上部工重量が $500\text{tf}$ 、平成2年度版道示によるせん断抵抗が $650\text{tf}$ となり、 $1300\text{gal}$ と非常に大きな力が作用したことになる。これは、阪神大震災における阪神高速3号神戸線の損傷橋脚が $400\text{gal}$ 程度であったの対して、非常に大きな力が作用したことになる。一方、地盤の変形に伴うせん断損傷であると仮定すると、上部構造が単純桁であることから、支査上の抵抗が非常に大きなものである必要があり、ストッパーなどにより抵抗したとしても、橋脚よりも大きな抵抗力を有するとは考えにくい。以上のように、下流側橋脚の損傷原因については、今後とも設計図などを用いてより詳細に検討する必要がある。

#### 4. 長庚橋

本橋は石岡ダムの東約 $1\text{km}$ に位置し、大甲溪にかかる $11$ 径間の単純桁の橋梁である。径間長 $34.7\text{m}$ 、幅員 $13.1\text{m}$ 、桁高 $2.15\text{m}$ の5主桁P C桁である。橋脚はRC橋脚で、断面は $4.6\text{m}\times 2\text{m}$ 、高さ



写真-1 長庚大橋落橋状況

は $5\sim 8\text{m}$ である。現地状況から基礎は直径約 $6\text{m}$ のケーソン基礎となっているようである。損傷状況は図-6に示すように、橋脚には特に損傷は見られないが、左岸側D2桁(A2~A3間)、D3桁(A3~A4間)が落橋している。現地では明瞭な断層線は認められず、このような比較的小さな、桁や橋脚の移動によって落橋に至った要因としては、単純桁であることに加えて、橋軸方向の桁がかり長が短いことや橋軸方向の落橋防止構造が存在しないことも上げられる。なお、橋軸直角方向には移動を制限する鉄筋コンクリートのブロックがあり、直角方向の移動を制限している。現地における測量により橋脚間距離を求めるとA7~A2橋脚間距離はそれぞれ $34.9$ 、 $34.8$ 、

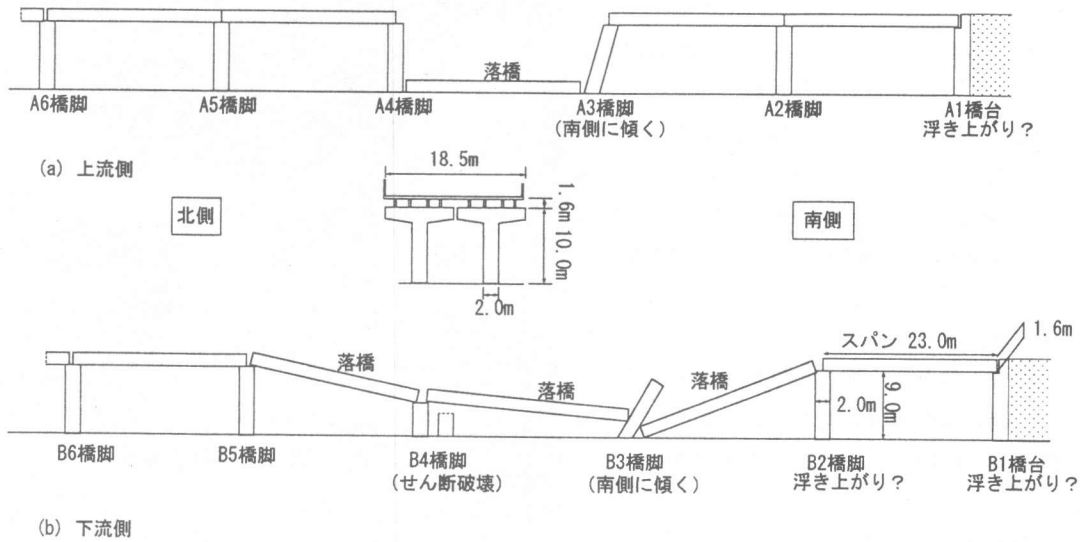


図-7 名竹大橋損傷状況

35.0, 34.8, 34.5mと桁長34.8mにほぼ対応している。また、橋脚自身は移動していないが、A3橋脚、A2橋脚はそれぞれ $8.9^\circ$ 、 $12.9^\circ$ 傾いており、A4～A3橋脚間で約80cm、A3～A2橋脚間で40cm橋脚天端間は基礎間より広がっている。次に、桁遊間中心と橋脚中心の距離から、桁の移動量を推定すると、A7橋脚上で30cm、A6橋脚上で30cm、A5橋脚上で50cm、A4橋脚上で70cm、それぞれ南側に移動している。このことは、A7橋脚より南側では、橋脚自身は移動していないにも関わらず、それぞれの桁が移動したことを示している。また、落橋桁反対側の右岸付近の桁でも、桁同士がぶつかり合い、桁端部が損傷するとともに、桁遊間がない状態となっていた。このことから、大きな桁移動を生じた水平力は、北側から南側が卓越していたと推定される。損傷状況から推定される損傷メカニズムは以下のとおりである。

- ①右岸側より左岸側（北より南）に大きな水平力が生じた。
- ②これに伴い、右岸側桁が順次押し出され、桁同士が玉突き現象を生じた。
- ③そのため、D6桁から順次南側に押し出され、D3桁、D2桁は70cm南側に押し出されて落橋に至ったと考えられる。D3桁の移動に伴い、A3橋脚は $8.9^\circ$ 傾き、同様にD2桁の移動によりA2橋脚も

$12.9^\circ$ 傾いた。D1桁の押し出しによりA1橋台も損傷し舗装面が盛り上がったと思われるが、現地調査の時点（地震後1週間）では、すでに補修工事が実施されており、損傷状況は不明であった。

## 5. 名竹大橋

### 5.1 損傷状況

主桁は4主桁で、1スパン長は約25.3m、橋脚は直径2.0mの円形であった。現地調査の時点では、A3およびB3の2基の橋脚およびA2～A4、B2～B4間の4つの桁がすでに撤去されており詳細調査は実施できなかった。この箇所については、現地で入手した写真を用いて推定する。図-7に示すように、上流側の損傷状況はA3橋脚が大きく南側に傾くとともに、A3～A4間桁が落橋している。A5橋脚には柱基部に曲げ損傷を生じていた。これに対して、下流側の損傷状況は、B4橋脚がせん断損傷、B3橋脚が南側に大きく傾くとともに、B2～B5間桁が落橋に近い状態となっている。損傷状況から推定される上流側橋梁の損傷メカニズムは以下のようである。

- ①地震動に伴い、A3橋脚が大きく南側に傾きA3～A4間桁が落橋に至った。あるいは、A3～A4橋脚間で大きな水平方向の変位を生じ、桁間距離が広がり落橋に至った。

同様に損傷状況から推定される下流側の損傷メカニズムは以下のものである。

①写真-2に示すように、B4橋脚が橋脚上部でせん断損傷することにより、B3～B4、B4～B5間の桁が落橋した。B2～B3間桁の落橋原因は損傷状況から見ると、B2～B3間桁の上に橋脚が覆い被さるように見えることから、桁が落ちたあとに、橋脚が傾いたと考えられる。このことからB2～B3橋脚で大きな水平変位を生じ、桁が落橋したあと、B4橋脚の損傷により落橋した桁の水平力がB3橋脚に作用し傾いたとも考えられる。



写真-2 B4橋脚損傷状況

## 5.2 B4橋脚損傷分析

B4橋脚は柱部分全体がせん断損傷し、主鉄筋および帯鉄筋が橋脚周辺に散乱していた。損傷形態は阪神高速3号神戸線に見られた段落とし部のせん断損傷に非常に似かよっている。なお、シュミットハンマーによる強度推定ではB4橋脚は26MPa程度であり、表面状態も健全であり品質的な問題は認められなかった。簡便な手法で、せん断損傷したB4橋脚の耐力を求める。B4橋脚が支えている上部工重量を求めると340tfとなる。これに対して、平成2年度版道示に基づきせん断抵抗を推定すると161tfとなり、せん断耐力係数( $\alpha_{su}=980 \cdot Su/W$ )を求めると、470gal程度となった。これは、兵庫県南部地震でせん断損傷した阪神高速道路3号神戸線RC単柱式橋脚のせん断耐力係数が400gal程度であったことを考慮すると、ほぼ同程度の地震力が作用したと推定される。一般には断層による橋脚の傾きや移動が多く報告されているが、上記のように橋脚そのものにも地震動による損傷が認められた<sup>9)</sup>。

## 6. まとめ

集集大地震により大きな被害を生じた代表的な3つ橋梁の詳細調査により得られた結果を以下にまとめる。

①測定の結果、烏溪橋の上流側橋梁では、断層をまたぐA3～A4橋脚間距離が1.2m縮まっていた。このため、橋脚間距離の減少によりA3桁が北側

方向に押し出され、順次玉突き現象を起こし、A1、A2桁の落橋につながったと考えられる。

②これに対して、下流側橋脚では橋軸方向の移動は小さかった。また、壁式橋脚の橋軸直角方向の抵抗が極めて大きいにも関わらずせん断損傷していることからより詳細に損傷原因を検討する必要がある。

③長庚大橋は測定の結果、橋脚間の移動はほとんどないことが明らかとなった。このことから、地震動に伴う、桁の玉突き現象によりD2、D3桁が落橋したと考えられる。

④名竹大橋では、断層変状による橋脚の傾きとともに、橋脚自身にも地震動によると考えられるせん断や曲げ損傷が認められた。

参考文献：

- 1)日経コンストラクション：台湾中部大地震，pp.75-95，1999年11月12日号
- 2)東京大学工学部土木教室：トルココジャエリ地震・台湾大震災被害報告速報，1999.11.
- 3)清水建設技術研究所：1999年台湾集集地震被害調査報告書，1999.10.
- 4)飛鳥建設技術研究所：1999年9月21日台湾集集大地震被害調査報告書，1999.10.
- 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資料，1999.11.