## 報告 1999年台湾集集地震における石圍橋の被災メカニズムの推定

田崎賢治\*1・幸左賢二\*2・山口栄輝\*3

要旨:集集大地震によって特徴的な損傷により落橋に至った石園橋について,詳細 な損傷状況と測量調査から本橋の落橋メカニズムを推定した。その結果,落橋に至 った複数のけたのうち,橋脚基礎付近の地盤変位に伴う基礎自体の回転変位により 落橋に至ったものと,橋軸直角方向の慣性力と地盤変位の複合的な作用によるけた の回転変位が原因で落橋に至ったもののがあることがわかった。 キーワード:橋梁,地震被害,曲げ損傷,集集地震,石園橋

1. まえがき

1999 年 9 月 21 日,台湾の中央部集集で発生し たM7.6の大地震では,台中県,南投県を中心に 甚大な被害が生じた。今回の地震では,震源近傍 の南北に走る断層に沿って,局所的であるが多く の橋梁が落橋等の被害を受けたことから,台中県 を中心に,図-1に示す 10 橋について橋梁の被 害調査および測量調査を実施した。

本文では、これらのうち、特徴的な損傷により 落橋に至った石園橋について、詳細な損傷状況と 測量調査から推定した損傷メカニズムについて 報告を行う。

### 2. 構造条件

本橋は図-1に示すように省道3号線上にあ り、大甲渓の支流を渡河する上下線分離3車線の 3径間単純曲線橋である(1994年9月竣工)。上 部構造はRC5主げた、けた長は24~25m,幅 員は11.75mでゴム支承で支持されている。なお、 支持条件は不明である。橋脚はRC小判型橋脚で、 断面は3.9m×1.5~1.8m,高さが柱下端からはり 天端まで9m程度である。橋梁断面図を図-2に 示す。また、本橋は図-3の平面図に示すように、 斜角が55度~85度程度まで変化している。



\*1 大日本コンサルタント㈱東京事業部技術一部 工修(正会員)
\*2 九州工業大学 工学部 建設社会工学科 Ph.D. (正会員)
\*3 九州工業大学 工学部 建設社会工学科 Ph.D. (正会員)



写真-1 石園橋の被害状況

## 3. 被害状況

被害状況を写真-1および図-3に示す。東勢 方面線ではD5とD6の北側のけた端部がそれぞれ P1とP2より落橋している。また、卓蘭方面線で もD3北側けた端部がP2より落橋している。東勢 方面線、卓欄方面線ともA2橋台上では、写真-2に示すようにけたが衝突し、ゴム支承が沓座か らずれ落ち、サイドブロックも損傷している。

また,東勢方面線の P1 橋脚には大きな損傷は 見られず,A1橋台側に0.9°程度傾斜している。 P2 は橋脚自体に大きな損傷は見られないが,写真 -3~写真-4に示すように,基礎が大きく回転 しており,P1 側に 10.3°程度,東側(橋軸直角 方向側)に4.8°程度傾斜している。一方,卓蘭 方面線の P1橋脚は写真-5に示すように,高さ 2m 付近で東西方向にせん断および曲げひび割れ が生じ,北側基部でコンクリートが剥離している。





図-3 石園橋の被害概要と測量結果



写真-2 A2橋台支承付近の損傷



写真-3 東勢線 P2 橋脚の橋軸方向への傾斜



写真-6 卓欄線 A1 橋台付近の損傷



写真-4 東勢線 P2 橋脚の直角方向への傾斜



写真-7 東勢線 P1 上のけた位置



写真-5 卓欄線 P1 橋脚の損傷状況



写真-8 卓欄線 P1 上のけたの回転変位

さらに A1 橋台側に 2.2°程度傾斜している。P2 は橋脚自体に大きな損傷は見られないが,基礎が 大きく回転しており, P1 側に 7.6°程度,東側に 3.4°程度傾斜している。全体として橋脚が北側 に傾斜している。

本橋周辺では**写真-1**からわかるように、右岸 側(A2側)の川岸で大きな斜面崩壊が生じており、 断層の影響を受けた可能性があるとの報告もあ る<sup>1)</sup>。

## 4. 被害メカニズムの推定

### 4.1 D3 および D6 の落橋メカニズムの推定

図-3には、下部構造間距離とけた長の測量結 果を併せて示している。これによると, D3 および D6 の落橋は右岸側の大規模な斜面崩壊から裏付 けられる地盤変状によって P2 基礎が回転し、北 側に大きく変位することにより、両方面線のD3, D6 を支持する P2 と A2 間の距離が, 東勢方面線は 25.0m. 卓欄方面線は 24.4m で,いずれの路線も けた長の24.0mよりも長くなっていることが主た る原因と考えられる。このことは、P2橋脚の回転 による橋脚天端の水平変位が、東勢方面線で 1.64m (回転角 10.3°), 卓欄方面線で 1.2m (回 転角 7.6°) であり、地震前の P2~A2 間の支間長 24.0m にこれらの回転変位を各々加えると、地震 後の測量結果による支間長(東勢方面線: 25.8m, 卓欄方面線: 25.2m) にほぼ等しくなることから 裏付けられる。また、P1~P2間についても、地震 前の支間長が東勢方面線で24.0m,卓欄方面線で 25.2m であり、回転変位を各々差し引くと、地震 後の測量結果による支間長(東勢方面線: 22.3m, 卓欄方面線:24.3m)にほぼ一致する。

# 4.2 東勢方面線 D5 の落橋メカニズムの推定(1)橋軸方向の慣性力による落橋の可能性

東勢方面線でP1とP2間の距離がけた長よりも 短くなっているにもかかわらず落橋に至った D5 については、図ー4に示すように、D6の落橋の前 に、地震動によるけたの慣性力が南側(A2側)に 作用し、けたかかり長の不足などから D5 の落橋



図-4 東勢方面線の落橋メカニズムの推定

の可能性を検証する。地震動による慣性力を受け たことは、A2橋台パラペット部にけた衝突の痕跡 があること(写真-2)、卓欄方面線のP1橋脚基 部に曲げおよびせん断ひび割れやコンクリート の剥離といった損傷を生じていること(写真-5)、卓蘭方面線のA1橋台部においてけたが北側 (A1橋台側)に40cm程度めり込んで路面が盛り 上がっていること(写真-6)から裏付けられる。 しかし、写真-7に示す東勢方面線P1上のけ た位置によると、D4側のジョイント部分が橋脚天 端の中間くらいに存在していることから、D4側が 単純に橋軸方向に押し出した形ではないと考え ることができる。

### (2) 橋軸直角方向の慣性力あるいは地盤変位に

#### よる落橋の可能性

写真-5に示す橋脚の損傷状況から、本橋は東 西方向(橋軸直角方向)にも地震動を受けた痕跡 がある。本橋は図-3に示すように、斜角が55 度~85度まで変化する斜橋であるため、東勢方面 線 D5 が直角方向の地震動を受け、けたの回転挙 動により、幾何学的に落橋に至った可能性の有無 を検証する。但し、D5 の落橋のタイミングがD6 よりも前の場合と後の場合が考えられるため、両 者の場合を想定する。けたが回転挙動したことは、 卓欄方面線 P1 上でけた間隔が片側のみ 30cm 程度 開いている**写真-7**から明らかであり、このけた の開きは、卓欄方面線 P2 橋脚が直角方向に 3.4° 傾斜することによる回転変位から算出したもの と一致している(図-5参照)。(P2 橋脚上; 53cm, P1 橋脚上; 28cm、けたの回転角; 1.3°)

 D6 落橋前に D5 が落橋したと仮定 (隣接の D6 が存在する場合)

東勢方面線 D5 は P1 橋脚上のけたが落橋してい ることから,回転挙動は P1 鈍角側けた端部 C 点 を回転中心とし,70度の斜角を有するけたの北側 で生じたものと考えられる。ここで,幾何学的に 回転可能な平面形状の判定概念図を図-6に示 す。また,図-7に回転可能な斜橋の平面形状比 (b/L)と斜角θとの関係を示す。図-6の式(1) を満たす図の斜線内が回転可能範囲となる<sup>2)</sup>。東 勢方面線 D5 の平面形状比(b/L=0.47)と斜角(=70 度)の関係を図中に●印で示しているが,回転可 能範囲外となり,けたや橋脚位置が地震前と変わ らないことを前提とすれば,D5 けたは幾何学的に 回転することはないことがわかる。

しかし、地震時には、前述したように橋軸方向 の慣性力も作用したことが判っており、橋軸方向 の地震力により、D5 けた両端の遊間量の合計 $\Delta$  (=  $\Delta_1 + \Delta_2$ ) が 35cm ( $\Delta/L=1.5\%$ ) 広がったと仮定 すると、回転可能範囲は式(2)の条件式<sup>2)</sup> から、 図-7の太破線 ( $\Delta/L=1.5\%$ ) のようになる。 この仮定の場合、D2 けたの●印は回転可能範囲内 となり、幾何学的に回転することになる。

また,東勢方面線の P1 橋脚はほとんど残留変 位が生じておらず, P2 橋脚のみ橋軸直角方向に 4.8°,橋脚天端の変位に換算して 75cm 東側に傾 斜していることから,橋軸方向の変位と併せて, この影響もけたが回転しやすい方向に作用した ものと考えられる。



図-5 D2 けたの回転変位(卓欄方面線)



 $\Delta_1, \Delta_2: けた端部の遊間量$ 

図-6 回転の判定



② D6 落橋後に D5 が落橋したと仮定

(隣接の D6 が存在しない場合)

東勢方面線 D6 が落橋後に D5 が落橋すると仮定 する場合, D5 回転時に隣接の D6 は存在しない状 態である。D5 の回転により, P1 橋脚上から脱落 する条件は図-8に示すように,けたの中心が橋 脚天端のけたかかり長(75cm)以上変位する場合 である。図-8によると, P2 天端位置が直角方向 に 3m 近く変位しなければ,脱落の条件を満足し ないことになる。地震後, P2 橋脚の直角方向の傾 斜は,橋脚天端位置で 75cm 程度であるため,D5 落橋時に 3m 近く変位することは考えにくい。逆 に,P2 橋脚上で 75cm 変位した場合にけたが脱落 する条件を示したものが図-9である。これによ ると,P1 橋脚上の変位は 38cm となり,橋軸方向 に 37cm の変位が生じたと想定すれば落橋の可能 性があると言える。

## 5. まとめ

- (1)D3 およびD6 の落橋は,右岸側の大規模な斜面 崩壊から裏付けられる地盤変状によってP2 基 礎が回転することにより北側に大きく変位し たことが主たる原因と考えられる。
- (2) 東勢方面線 D5 と D6 の落橋の順序は明確にわ からないが、いずれにしても慣性力と地盤変 位の複合的な作用により、D5 けたが橋軸方向 に 40cm 近く変位し、さらに、けたの回転挙動 により P1 橋脚上のけたかかり長を超えて落橋 に至った可能性が高い。



図-8 けたの回転により D2 が P1 上から脱落 する条件(直角方向のけたの回転のみ)



図-9 P2 上の変位が 75cm になる場合のけたが 脱落する条件

### 参考文献

- 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 地震報告会資料,1999.11
- 2) 大塚久哲,神田昌幸,鈴木基行,川神雅秀: 斜橋の水平地震動による回転挙動解析,土木学 会論文集 No. 570/I-40, 1997.7

-1098 -