

中国四川地震による百花大橋及び回瀾立交橋の被害

高橋 良和¹，川島 一彦²，呉 智深³，葛 漢彬⁴，張 建東⁵

¹正会員 京都大学准教授 防災研究所（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）

²フェロー 東京工業大学教授 理工学研究科土木工学専攻（〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1）

³正会員 茨城大学教授 工学部都市システム工学科（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1）

⁴正会員 名城大学教授 理工学部建設システム工学科（〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501）

⁵正会員 江蘇省交通科学研究院副総工務師（〒211112 中国南京市江寧科学園誠信大道 2200 号）

1. はじめに

2008年5月12日午後2時28分（現地時間）に、中国四川省北部の汶川県を震源とするマグニチュード8の、今世紀最大の直下型大地震が発生した。著者らは、文部科学省特別研究促進費プロジェクト「2008年中国四川省の巨大地震と地震災害に関する総合的調査研究」（研究代表者：小長井和男東京大学教授）の社会基盤施設被害調査チーム（ヘッド：川島一彦東京工業大学教授）として、2008年8月9日-14日に現地入りし、橋梁被害を中心に調査してきた。本論では、特に百花大橋及び回瀾立交橋の被害について報告する。

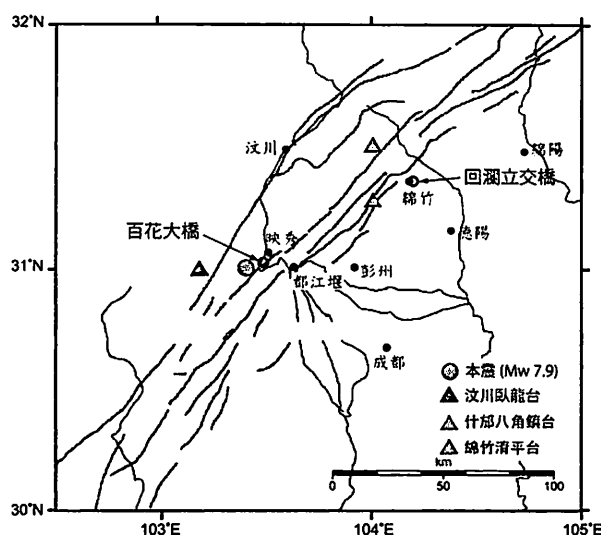


図-1 中国四川地震の震源断層と橋梁位置

2. 汶川地震の震源断層と報告橋梁の位置

汶川地震は龍門山断層帯（Longmen Shan Fault）の破壊によるものであり、震央は映秀鎮付近にあり、ここから北に汶川、綿竹、北川を経て青川に至る約300kmの範囲に大きな被害を生じた。本震近くには全国強震観測ネットにより構築された地震計が設置されており、震央から19kmにある汶川臥龍台観測点では最大加速度はNS方向に 957.7 cm/s^2 、EW方向に 652.9 cm/s^2 、UD方向に 948.1 cm/s^2 と、今回観測された中では最も大きい記録が得られている。断層位置、観測点と本報で紹介する橋梁の位置関係を図-1に示す。

3. 百花大橋(Baihua Bridge) の被害

百花大橋は映秀鎮と都江堰市を結ぶ国道213号上の橋長約500mの橋梁である。上部構造は2~4径間連続PCスラブで、竣工は2004年12月とされている。写真-1に示すように、山腹が河川際まで迫っている箇所、高さ約30mのRCラーメン橋脚によって支持されていたが、図-2及び写真-2に示すように、都江堰市側で約90度湾曲するP2~P6間の4径間連続橋が落下した。橋脚は2本のRC円形柱を横梁によって連結したラーメン橋脚で、桁端を支持する橋脚には橋脚頂部に横梁があり、中間橋脚やゲルバー部の橋脚には頂部に横梁は設けられていない。桁掛かり長は約600mmであった。なお、曲線部近傍に断層もしく

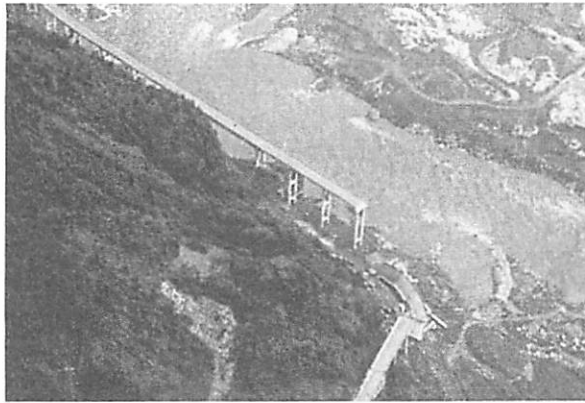


写真-1 落橋直後の百花大橋（新華社による）



写真-3 落下したゴム支承

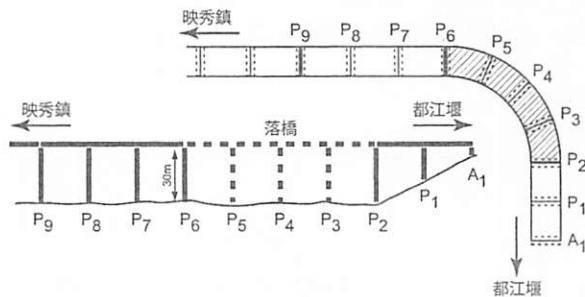


図-2 百花大橋と地震による落橋部



写真-4 ゴム支承が設置されていた橋脚柱上端

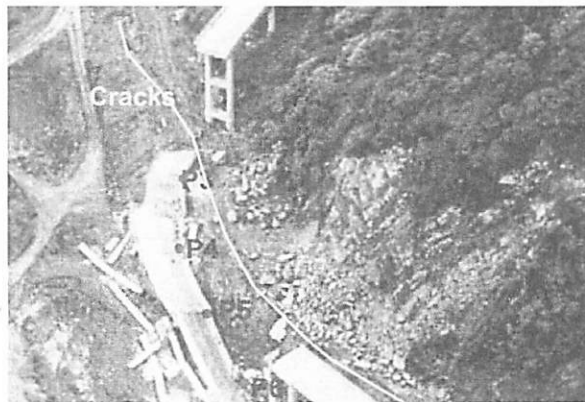


写真-2 地震直後の百花大橋落橋部（ネット写真（西南交通大学教授李亜東氏提供）に加筆）

約600mmであった。なお、曲線部近傍に断層もしくは地滑りのような地割れが直線的に生じているが、これについては後述する。

写真-3、写真-4は地震で落橋した区間ではなく、後述する爆破区間であるが、橋脚柱から脱落したゴム支承と橋脚柱の頂部である。桁は橋脚頂部でゴム支承により支持されていたが、特に橋脚柱～ゴム支承～桁間は結合されていない。このため、容易に橋軸及び橋軸直角方向へ桁移動が生じたと考えられる。地震後壊れ残った部分が余震等で落橋する可能性があり、都江堰市から百花大橋の下を応急的に通過し

て甚大な被害を受けた映秀鎮方面に対する避難・救助活動に大きな障害となった。このため5月28日に地震で壊れ残った区間も爆破され、著者らの調査時には原型を留めていなかった。ただし地震によって落橋した区間はほぼそのままで保存されていたため、下記には、地震で崩壊した部分について被害状況を示す。

写真-5に地震直後に撮影されたP6、P7の被災状況を示す。P6では中間横梁が脱落し、橋脚頂部では桁が山側に残留移動している。また、P7では橋脚柱との接合部で中間及び下部横梁に大きなクラックが入っており、橋脚柱が山側に傾斜しているのがわかる。

写真-6はP5（図-2及び写真-2参照）の損傷状況を示したものである。これは中間橋脚であるため、頂部に横梁がなく、中間部のみに1m角の断面の横梁がある。横梁が橋脚柱から外れ、橋脚柱も中間で折れて2つに分離している。写真-7及び写真-8に示すように、横梁は縦に6本、横に5本とわずかに18本の鉄筋によって橋脚柱に結合されていただけである。横梁の鉄筋は橋脚柱から引き出された鉄筋と重ねて溶接



写真-5 P6, P7 橋脚の損傷と桁移動（ネット写真（西南交通大学教授李亞東氏提供）に加筆）

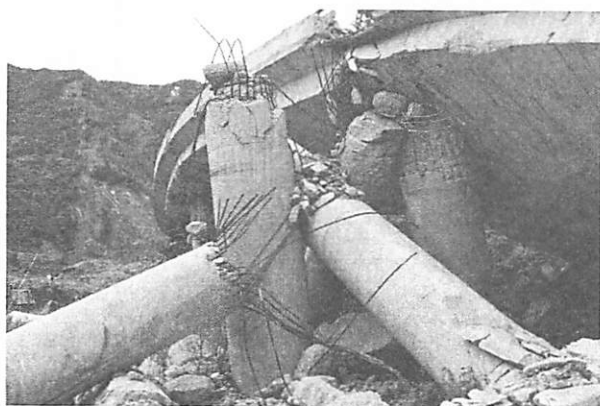


写真-6 落橋部の橋脚損傷状況（P5 橋脚）

接合されている。また、橋脚柱から外れた横梁の接合面は極めてなめらかで、横梁が橋脚柱と一体化されておらず、塑性ヒンジが柱梁接合部に全く形成されていないことを示している。

さらに、橋脚柱においては、軸方向鉄筋がD29程度であるのに対して帯鉄筋は $\phi 10$ を300mm程度に配置しただけであり、横拘束効果がほとんど発揮できず、橋脚柱の破壊を防止できなかったと考えられる。また、上述した橋脚柱・横梁接合部と同様に、橋脚柱においても軸方向鉄筋は重ねて溶接接合されていた。

以上より、落橋のメカニズムを推定すると、図-3 のようになる。まず地震動により橋脚は橋軸直角方向に振動し、中間横梁・橋脚柱接合部が損傷した。橋脚頂部は桁と固定されていないため、横梁の損傷により安定を失い、さらに大きく変位した。曲線部



写真-7 橋脚と横梁接合部の分離（P5 橋脚）



写真-8 横梁と結合されていた橋脚柱の固定部

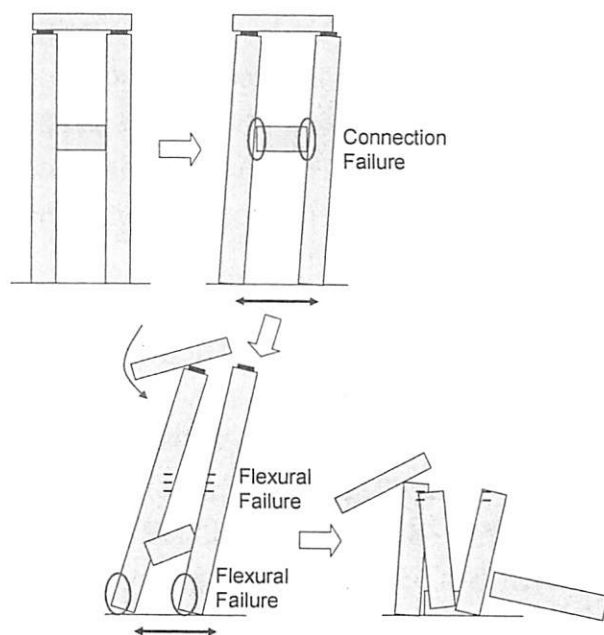


図-3 破壊メカニズムの推定

は複雑に応答するため、橋軸方向にも変形し、桁掛かり部から外れて桁が落下した。橋脚が半分に折れたのは、橋脚柱・横梁接合部の損傷が進むと同時に、橋脚上に桁が落下したためと考えられる。

なお、地震直後に撮影された写真-2によると、曲線部近傍に断層もしくは地滑りのような地割れが直線的に生じている⁹⁾。著者らの調査時点ではすでに見えなくなっていたが、これがどのような性格の地割れか、また、これによる影響がどのようなものであったかに関しては、別途、正確な測量結果等に基づいて判断する必要がある。

4. 回瀾立交橋(Huilan Bridge) の被害

回瀾立交橋は徳茂道路(X101線)綿竹市回瀾大通りに位置する橋梁であり、本線の一部は徳天鉄道を跨ぐ立交橋である。写真-9示すように、本線橋と曲線ランプ橋4橋から構成される。ランプ橋は歩行者と乗用車などを除く軽車両専用道であり、平面曲率20.25mの場所打ち中空床版桁からなる。橋面は厚さ約100mmのRC場所打ちコンクリートで連続化されている。幅員は4.5m、桁高は0.95mであり、全長は170~200m(支間長@11+9~11@16m+15m)である。3.19%の縦断勾配と1%の横断勾配がある。橋脚は直径0.8mのRC円形橋脚で、鉛直方向には通常の軸方向鉄筋に加えてPC鋼より線を配置して緊張力が導入されている。また、桁はゴムパッド支承と橋脚との剛結合構造が交互に採用されている。この理由はよくわからないが、全て剛結合とするには支間が短すぎ、全てゴムパッドで支持すると曲率半径が短いため橋軸直角方向への桁変位が大きくなるためではないかと推定される。

4橋いずれのランプ橋も図-4に示すような被害を受けた。代表的な被害は、写真-11に示すように、支点部に近い剛結橋脚P2の上端部でのせん断破壊である。この結果、桁が沈下し、支点部付近の下床版に多数の横方向ひび割れが生じた。また、P2橋脚上で桁が沈下し、写真-12のような支持条件の結果、写真-13に示すように、A1橋台上で主桁が支点から浮き上がった。さらに、P1橋脚の鋼製ピン支承が橋軸方向に大きく変位し(写真-14)、支点部に向かって主桁が移動した。

この他にも、写真-15に示すように、橋脚高の低い橋脚にはせん断破壊が多数生じているが、橋脚高が比較的高いP4橋脚(写真-16)では、水平地震力の分担が小さく、P2橋脚に比較し損傷は軽微であ



写真-9 回瀾立交橋のCG（本線+ランプ4橋）



写真-10 ランプA全景

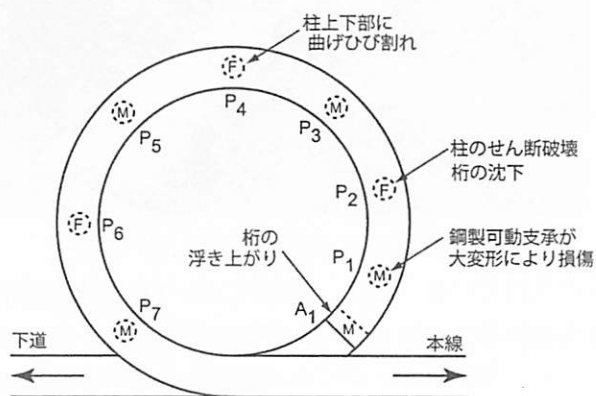


図-4 ランプ橋Bの被害



写真-11 P2 橋脚の被害と P3 橋脚



写真-12 各橋脚と支持条件

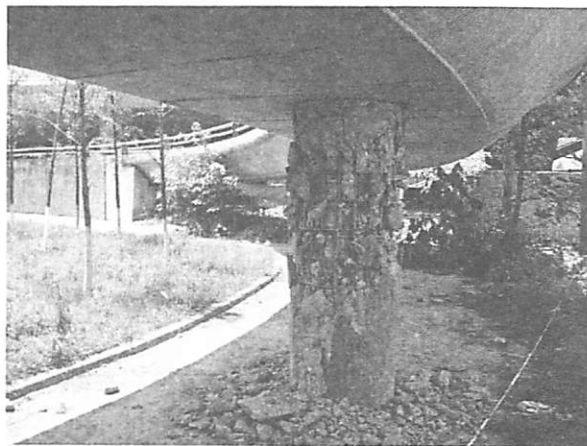


写真-15 橋脚のせん断破壊

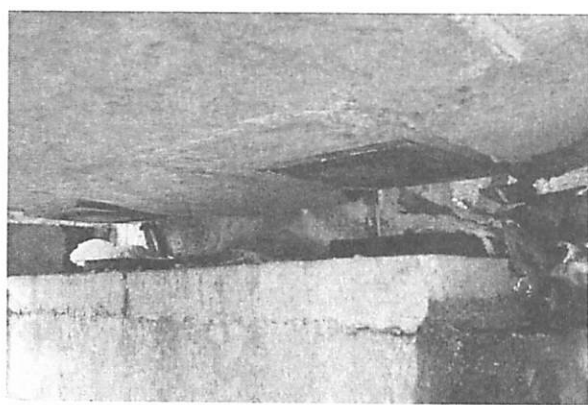


写真-13 A1 橋台部での桁の浮き上がり

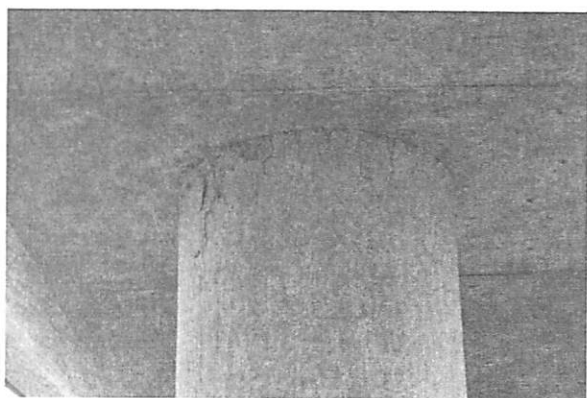


写真-16 P4 橋脚の上部

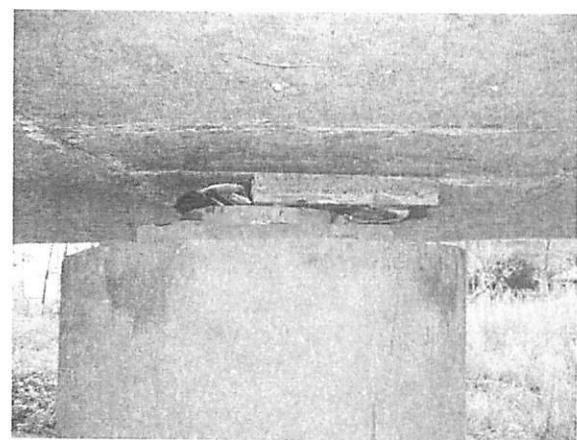


写真-14 P1 橋脚鋼製支承の橋軸方向変位

る。

4. まとめ

四川地震は、約 300km にも及ぶ長大断層に伴う M8 クラスの内陸直下型の大地震である。橋梁がこのような巨大地震の洗礼を受けた事例は極めて限ら

れており、今後の土木構造物に与える影響を知る上で極めて貴重な情報である。本報では、震源に極めて近い山岳部における事例（百花大橋）と都市部における事例（回瀾立交橋）を紹介した。

百花大橋では、橋脚と横梁との接合部の結合が十分ではなく、さらに桁と橋脚が分離しやすい構造であったことが落橋につながった。また曲線部でのみ落橋しており、複雑な地震応答性状により被害が拡大した可能性もある。また 4 径間連続橋を横断して地表に地割れが生じている。これが断層であるかを決定づける情報を持ち得ていないが、これらの情報を今後きちんと調査する必要がある。

回瀾立交橋では、デザイン性に優れたランプ橋部において、せん断破壊を伴う大きな被害が発生した。周辺の橋梁に大きな被害が発生していないことを考えると、この構造形式が被害の要因であると言える。また軸方向に緊張力が導入されていることなどの影響等を検討する必要がある。

謝辞：本調査は文部科学省科学研究費補助金（特別研究推進費，代表：小長井和男東京大学教授）の一環として実施されたものである。調査にあたり，多数の方々のご支援，ご助力を得た。特に，中国地震局工程力学研究所の王自発所長，李山有教授，林均岐教授，西南交通大学の李喬主任教授，鄭史雄教授，東南大学の劉釗教授および現地地震局の方々をはじめとする中国研究者のご協力が無ければ調査が実施できなかったことを記し，厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) Ge, H. B., Kawashima, K., Takahashi, Y., Wu, Z.S. and Zhang J.D.: Inspection Activities on Damaged Bridges in Seismic Region of Wenchuan Earthquake, Keynote Lecture, Proc. of The 10th International Summer Symposium, JSCE, September 18, 2008, Tokyo, Japan, pp.5-8.
- 2) 川島 一彦，高橋 良和，葛 漢彬，吳 智深，張建東：2008 年四川汶川地震による橋梁の被害，土木学会論文集へ投稿中。
- 3) General Introduction to Engineering Damage during Wenchuan Earthquake, Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Vol. 28 Supplement, ISSN 1000-1301, 2008.
- 4) Li Qiao and Zhao Shichun (editors): Analysis of Seismic Damage of Engineering Structures in Wenchuan Earthquake, 2008.
- 5) 川島 一彦，高橋 良和，吳 智深，葛 漢彬，張建東：中国四川地震による廟子坪大橋及び小魚洞橋の被害，第 12 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2009 年 1 月。
- 6) 高橋 良和，川島 一彦，吳 智深，葛 漢彬，張建東：中国四川地震による百花大橋及び回瀾立交橋の被害，第 12 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2009 年 1 月。
- 7) 吳 智深，葛 漢彬，張 建東，高橋 良和，川島 一彦：中国四川地震におけるアーチ橋の被害，第 12 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2009 年 1 月。
- 8) Lekkas, E.L.: Wenchuan Earthquake, Sichuan, China-Geotechnical Regime and Damage Macro-Distribution, Proc. 14th WCEE, Paper No. S31-015, Beijing, China.
- 9) George C. Lee : The 512 Wenchuan Earthquake of China - A Preliminary Report, <http://mceer.buffalo.edu/research/Reconnaissance/China5-12-08/default.asp> , 2008.