

## 2008年中国四川地震によるアーチ橋の被害

葛 漢彬<sup>1</sup>, 呉 智深<sup>2</sup>, 張 建東<sup>3</sup>, 川島 一彦<sup>4</sup>, 高橋 良和<sup>5</sup>

Hanbin GE<sup>1</sup>, Zhishen WU<sup>2</sup>, Jiandong ZHANG<sup>3</sup>, Kazuhiko KAWASHIMA<sup>4</sup> and  
Yoshikazu TAKAHASHI<sup>5</sup>

<sup>1</sup>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)

<sup>2</sup>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)

<sup>3</sup>正会員 江蘇省交通科学研究院副総工師 (〒211112 中国南京市江寧科学園誠信大道 2200 号)

<sup>4</sup>正会員 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)

<sup>5</sup>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)

中国四川汶川大地震によって各種構造物が甚大な被害を受けた。橋梁においても、多数の多様な被害が発生したが、本稿では、著者らが現地調査した各種橋梁構造物のうちアーチ橋を取り上げ、その被害について述べている。また、中国の研究者らによるこれらの橋梁の被害分析についても少し触れている。

キーワード：四川地震，アーチ橋，被害分析，耐震設計

### 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。この他、複数回の個別調査も行った。

調査成果の速報として2008年9月18日に行なわれた土木学会サマーシンポジウムで発表している<sup>1)</sup>。また、2009年1月の「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」と2009年5月の「第30回土木学会地震工学研究発表会」および2009年8月に中国成都で開催された「橋梁安全、耐久性および耐震に関する学術シンポジウム」でも報告している<sup>2)-10)</sup>。その後、調査結果の一部をより詳しく分析してまとめたものが土木学会論文集およびJournal of Earthquake Engineeringに掲載されている<sup>11), 12)</sup>。

この地震によって各種構造物が甚大な被害を受けた。橋梁においても、多数の多様な被害が発生した。本稿では、著者らが現地調査した各種橋梁構造物のうちアーチ橋を取り上げ、その被害について述べる。

### 2. アーチ橋の被害状況と分析

現地調査は汶川県、綿竹市、広元市(青川県は広元市管轄の県)など広域にわたり行った。アーチ橋は最も構造形式の多い橋梁である。例えば、広元市には800橋以上の各種橋梁があるが、RCアーチ橋は41.6%、石造アーチ橋は32%を占めている<sup>13)</sup>。これらの橋梁の設計は、それぞれ1977年版、1989年版および2004年版の道路橋設計基準に

従って行われたが、1977年以前に建設された橋梁は30.77%、1978年～1989年の橋は32.13%、1990年～2004年の橋は29.41%、2005年以後の橋は7.69%となっている。

以下に、我々が調査したアーチ橋のうち、近年比較的新しく施工されたRCアーチ、従来の石造アーチについてそれぞれ紹介する。

#### (1) 金花大橋 (Jinhua Bridge)

金花大橋は綿竹市金花鎮の四級県道に位置し、石亭江を跨るRCアーチ橋である。写真-1に示すように、金花大橋(金花石亭江大橋)は1997年に竣工した支間長150m、橋長228m、幅員は10mのRCアーチ橋である<sup>14)</sup>。アーチ主構は2連のボックス構造からなり、アーチライズ比は1/6である。主桁は鉛直材上にゴム支承によって支持されている。

写真-2に示すように、鉛直材と横梁の接合部において横梁には複数のクラックが生じた。横梁の鉄筋比が低く、曲げによる端部の鉄筋降伏が生じていると推定されるため、構造的な補強が必要と考えられる。

また、写真-3に示すように、橋台には桁との衝突に伴って複数の大きなクラックが生じ、橋面において段差が生じた。今回地震によりこのような被害を受けた橋台が多く見受けられた。橋軸方向に桁が大きく振動したことを示している。

写真-4に示すように、クラウン部近くのアーチ主構の側面にクラックが生じていたが、本地震によるものであるかどうかは明らかではない。アーチクラウン部ではアーチ主構と桁が一体となっているが、これに単純支持された桁との間で、写真-5に示すように衝突の痕跡が床版側壁にみられた。アーチ主構と一体となったクラウン部の桁とこれに隣接し、アーチ主構上で支持されていた桁との間の衝突によるものと考えられる。また、アーチクラウン部でのせん断クラックも観察された。本橋は総じて被害が比較的軽微であり、地震後も普通車両を通行していた。一方、文献15)では、橋台付近の橋面の段差と伸縮継ぎ目の損傷



写真-1 金花大橋



写真-5 アーチクラウン部の桁間衝突



写真-2 鉛直材と横梁との接合部のクラック

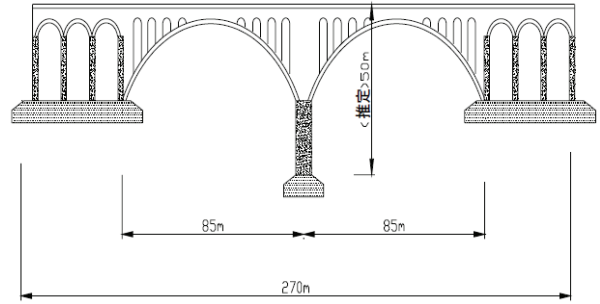


写真-6 井田坝大橋概要図



写真-3 主桁の衝突に伴う橋台の被害



写真-7 本震直後の井田坝大橋



写真-4 アーチクラウン部近くのクラック



写真-8 左岸側のアーチリブ基部の破壊

などの被害を挙げ、「嚴重損害」と分類されている。なお、補修補強のため、通行止めの措置が取られた。

(2) 井田坝大橋 (Jingtianba Bridge)  
井田坝大橋は青川県内で省道105号と国道212号を繋ぎ、



写真-9 白水大橋



写真-11 アーチクラウン継ぎ目部の破壊



写真-10 アーチリブの付け根のひび割れ



写真-12 アンゲル材でトラスに応急補強された床版損傷部

広域的には青川県と広元市内または甘肅を連結する橋梁である。1995年に着工され、1997年に竣工した。図-6(推定)に示すように、2径間RCアーチ(2×85m、文献16)では2×75m、文献17)では2×70m)であり、幅員は約7m、中間橋脚高さ約50m、橋長約270mである。写真-7、写真-8に示すように、地震によって中間橋脚が基部に近い位置で倒壊し、アーチが完全に崩壊した。信憑性は確認できないが、地震時に中間橋脚が橋軸方向に倒れ、アーチ主構が折れて倒壊したという現場近くの住民の証言がある。アーチ主構と中間橋脚の何れが先に崩壊したかは判断がつかないが、一般にはアーチ主構が先に崩壊したとすれば、中間橋脚が基部に近い位置から倒壊する可能性が低いと考えられることから、中間橋脚が先に崩壊したと見ることが妥当だと考えられる。しかし、アーチ主構は低鉄筋であることから、水平地震力によってアーチ主構に曲げモーメントが発生し、いずれかの側のアーチ主構が先に破壊し、この結果、もう一方のアーチ主構の水平力によって中間橋脚が倒れ、橋梁全体の崩壊につながったとの考え方<sup>16)</sup>も否定できない。また、文献17)では、断層の付近に位置している点が崩壊の原因だと分析されている。ただし、地盤条件など、他の複合的な要因についても検討する必要がある。たとえば、破壊したコンクリートブロックには大きな玉石が骨材として使用されており、建設時の品質管理の問題が挙げられる。また、基準に従って設計されていなかったことも考えられる。

新しく建設された「井田坝大橋」は2008年12月30日に竣工し、2010年4月23日に竣工している。橋長は209m、幅員は9.5m、構造形式は3径間RC構造連続橋(52m+95m+52m)である。

### (3) 白水大橋 (Baishui Bridge)

白水大橋は、広元市から青川へ通る国道212に位置している。この橋は、井田坝大橋に遠くない地点にある。写真-9に示すように3径間RCアーチである。文献18)によれば、1988年に設計が完了したが、1992年に着工し、1996年に竣工している。橋長は348mである。各部にいろいろな被害が生じている。写真-10に示すようにアーチリブ基部には圧壊によるひび割れが生じた。また、写真-11に示すように、桁のひび割れに対しては鋼材で応急補強されている。写真-12に示すように、補剛桁の床版に橋軸直角方向にひび割れを生じ、アンゲル材でトラス状に応急補強されている。損傷部分の橋面には仮設鋼トラス桁(ペレ桁)を設置し車両通行を確保している。橋上部にも多数ひび割れが生じた。文献17)によれば、設計は基準に従って行われていなかった。報道によれば、2009年6月から8月にかけて補修補強を行った。なお、2009年10月から下流40mの地点で新しい白水大橋を建設している。

### (4) 紅東大橋 (Hongdong Bridge)

紅東大橋は綿竹市行政区内にある橋長約80mのRCアーチ橋である。写真-13に示すように完全崩壊した。写真-14はアーチ主構の取り付け部である。現場の状況で判断すれば、その反対側の取り付け部に支持する地盤条件は比較的によくないように思われる。また、わずかな鉄筋しか配置されておらず、アーチ主構の基部がヒンジ構造になっているのではないかと推定される。

### (5) 官通橋 (Guantong Bridge)

官通橋は綿竹行政区内の地方道路に架かる橋で、写真



写真-13 倒壊した紅東大橋



写真-16 アーチクラウン部と1/4との中間部に生じた損傷



写真-14 アーチ主構の支持部



写真-17 迎春橋



写真-15 官通橋



写真-18 財神廟橋

-15に示すように支間長約30mの無補剛石造アーチ橋である。約10年前に建設されている。砂岩が用いられている。アーチ主構の固定部は岩盤に支持されている。アーチ主構の固定部における目地開きの他、写真-16に示すようにアーチクラウンとアーチ1/4点との中間部で路面の破壊が生じている。橋軸方向の応答に伴う圧壊と考えられる。

#### (6) 迎春橋 (Yingchun Bridge)

迎春橋も綿竹行政区内の地方道路に架かる支間長約30mの無補剛石造アーチ橋である。写真-17に示すように、完全崩壊した。急峻な斜面に沿って造られた橋であり、固定部の擁壁が両側に開いていることから、アーチ支持点が不安定となり崩壊したと考えられる。小規模な橋であるが、地域住民の生活にはなくてはならない橋であり、大きな支障を来していた。

#### (7) 財神廟橋 (Caishenmiao Bridge)

青川地域には全域に渡って多数の石造アーチ橋が使用されている。これらの中には地震によって大きな被害を受けたものも多数ある。一例を示すと、写真-18に示すように、財神廟橋は青川県行政区に位置する支間約10mのRCアーチである。建造年代は不明で、かなり古い橋梁と考えられる。橋体に石積み目地に沿うひび割れが生じたため、車両通過を確保するため応急的に仮設鋼トラス桁(ペレ桁)を設置している。

#### (8) 紫下橋 (Zixia Bridge)

以上に主要な被害橋を示したが、被害を受けた橋の周辺には被害をほとんど受けなかった橋も多数存在している

ので、最後に1例、この例について示しておきたい。  
紫下橋は紫坪壩ダムの下流約1kmに位置し、落橋した廟子坪大橋3)や百花大橋4)と10km程度しか離れていない。写真-19に示すように、径間長約80mの2径間単純パイプアーチ橋である。アーチは2本の鋼管から構成されている。アーチから鉛直材で横桁を支持し、これにプレキャストの縦桁を配置して床版を置いた構造である。パイプアーチ、桁組ともに軽量であり、兩岸も岩盤が露頭した安定した地盤条件でもあることから、ほとんど被害を受けなかった。被害としては、写真-20に示すように、アーチ部の振動に伴ってパイプアーチ周辺の縁石兼鉛直材のカバーコンクリートの一部が剥落した程度である。

### 3. あとがき

被災地においては、山岳部であるためアーチ橋が数多く建設されている。また、中国古代からアーチ橋とくに石造アーチ橋が多く、伝統的な建設技術も優れているといわれている。以上に示したように、アーチ橋にも大きな被害が生じた。ただし、損傷が非常に小さかった橋梁も多数存在する。

被災した原因については、設計荷重をはるかに超えた地震力、材料、耐震設計技術および施工技術など様々な要素が考えられるが、今回の地震で何か学べるかを、今後より詳しく分析・解析をすることで、解明していくことが重要である。

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、中国国家地震局工程力学研究所の王自發所長、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、厚くお礼申し上げます次第である。

### 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, pp.5-8, 2008.9.
- 2) 葛 漢彬, 吳 智深, 張 建東, 高橋 良和, 川島 一彦: 中国における橋梁の耐震設計法, 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28日, pp.431-436.
- 3) 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28日, pp.91-96.
- 4) 川島 一彦, 高橋 良和, 葛 漢彬, 吳 智深, 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28日, pp.97-104.
- 5) 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28日, pp.105-110.
- 6) 葛 漢彬, 吳 智深, 張 建東, 高橋良和, 川島一彦: 中国における橋梁の耐震設計法, 第30回土木学会地震工学研究発表会論文集, 論文番号 No.5-0004, 2009.5.
- 7) 高橋良和, 川島一彦, 吳 智深, 葛 漢彬, 張 建東: 中国



写真-19 紫下橋

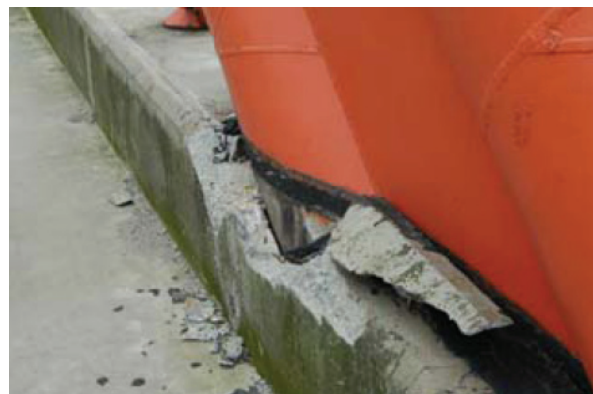


写真-20 パイプアーチ位置における縁石の損傷

- 四川地震による百花大橋及び回瀾立交橋の被害, 第30回土木学会地震工学研究発表会論文集, 論文番号 No.5-0005, 2009.5.
- 8) 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30回土木学会地震工学研究発表会論文集, 論文番号 No.5-0006, 2009.5.
  - 9) 川島一彦, 高橋良和, 葛 漢彬, 吳 智深, 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30回土木学会地震工学研究発表会論文集, 論文番号 No.5-0027, 2009.5.
  - 10) 張 建東, 川島一彦, 高橋良和, 吳 智深, 葛 漢彬: 汶川大地震による橋梁震害分析と啓示, 橋梁安全、耐久性および耐震に関する学術シンポジウム論文集, 成都(中国), pp.105-109, 2009.8 (in Chinese).
  - 11) 川島 一彦, 高橋 良和, 葛 漢彬, 吳 智深, 張 建東 (2009): 2008年四川汶川地震による橋梁の被害, 土木学会論文集A, Vol.65, No.3, pp.825-843, 2009年9月.
  - 12) Kawashima, K., Takahashi, Y., Ge, H. B., Wu, Z.S. and Zhang J.D.: Reconnaissance Report on Damage of Bridges in 2008 Wenchuan, China Earthquake, Journal of Earthquake Engineering, Vol.13, No.7, pp. 965-996, 2009.
  - 13) Liu, J.L., Zhou, W.S., Tang, Y.Z., and Li, H.: Investigation of Bridge Damage in Guangyuan during Wenchuan Earthquake, Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, Vol.32, No.4, pp.120-124, 2010.8. (in Chinese).
  - 14) Chen, B.A.: Arch Rib Construction of Jinhua Shitingjiang Bridge, Sichuan Shuli, Vol.20, No.4, pp.12-17, 1999. (in Chinese).
  - 15) Lin, J.Q., Chen, Y.S., and Wang, J.: Analysis of Seismic Damage to Highway Bridges in Mianzu City during Wenchuan M.8.0 Earthquake, World Earthquake Engineering, Vol.26, No.1, pp.80-85, 2010.3 (in Chinese).
  - 16) Zhao, G.H. and Liu, J.X.: Analysis of Seismic Damage to Bridges during Wenchuan Earthquake and Revelations for Seismic Design, Technology for Earthquake Disaster Prevention, Vol.3. No.4, pp.363-368, 2008.12 (in Chinese).
  - 17) Zhao, C.J., Chen, D.P., Huang, W.J., Zhao, C.S., and Huang, W.Z.:

Bridge Damages of Guangyuan City Caused by the 8.0-Magnitude Earthquake in Wenchuan, J. of Zhejiang Inst. of Communications, Vol.10. No.2, pp.1-5, 2009.6 (in Chinese).

Design, No.2, pp.51-54, 1998.2 (in Chinese).

18)Wen, Z.F.: Design of Piers in Baishui Bridge, Sichuan Survey and