

2008年汶川地震における被災した橋梁の復興状況について

竹田周平¹・幸左賢二²・張 建東³・廣岡明彦⁴・二井伸一⁵・庄司 学⁶

¹正会員 博（工）福井工業大学講師 工学部建設工学科（〒910-8505福井県福井市学園3-6-1）

²正会員 Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科（〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1）

³正会員 博（工）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）

⁴正会員 博（工）九州工業大学准教授 工学部建設社会工学科（〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1）

⁵正会員 株式会社ウエスコ 設計部構造設計課（〒700-0033 岡山市北区島田本町2-5-35）

⁶正会員 博（工）筑波大学大学院准教授 システム情報工学研究科（〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1）

1. はじめに

2008年5月12日に中国・四川省汶川県を震源とする大地震（汶川地震）が発生した。この地震により、7万人以上の死者と行方不明者が発生した。地震に影響を及ぼした断層帯は、長さ $L=300\text{km}$ で幅が $W=50\text{km}$ と規模が大きく、被害もこの断層帯に集中している。なお、この断層帯は山岳部と平野部の境界付近にある。被害は、例えば川島ら¹⁾により報告されているが、成都と汶川との間に位置する高速道路の高架橋である Miaoziqing Bridge では、PCT 桁の1スパンが落橋し、Baihua Bridge では曲線部の4径間部が落橋、Xiaoyudong Bridge では4径間中の2径間で落橋が発生した。また Huilan Bridge では4つのランプ橋の橋脚にせん断破壊が発生した。

このような橋梁の被害は震災後いくつか報告されているが、その後の復興状況については文献²⁾に代表される。著者らは、代表的な橋梁被害に着目し、地震発生約4ヶ月後に最初の現地調査を行い、その後に2回、合計3回の現地調査を行った。本研究では、これらの調査で得られた復興状況（再建や耐震補強の状況）の報告を行う。

る Miaoziqing Bridge と Baihua Bridge、また震央から50kmの距離に位置する Xiaoyudong Bridge と約100kmの距離に位置する Huilan Bridge の4橋である。これらの中で Huilan Bridge のみ市街地に、その他は山岳地域に位置している。なおこの震央に近い汶川県映秀鎮では町が壊滅的な被害を受けている。写真-1に第1回目で調査した時点での映秀鎮の様子を示すが、多くの建物は倒壊していることが判る。

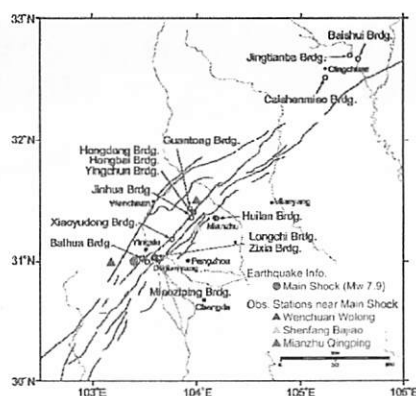


図-1 断層と橋梁との位置関係

2. 調査概要と対象橋梁

著者らの現地調査は、地震発生後からこれまでに合計3回実施した。第1回目は2008年の8月末から9月にかけて、第2回目は2009年3月末から4月に、第3回目は2009年9月末に調査を実施した。これらの調査では、被害を受けた橋梁の概略調査から開始し、その中でも特徴的な橋梁被害に着目した詳細測量や現地踏査を行い、今後被害分析を行うための基礎資料の入手を目的とした。図-1に断層と被害を受けた橋梁との位置関係を示す。図中に示す●は震央（Main Shock）であり、汶川県映秀鎮の近郊に位置する。本論文で紹介する橋梁は、この震央の近くに位置す



写真-1 映秀鎮の地震後の様子（第1回目調査時）

3. 被害を受けた橋梁の概要（第1回目調査）

(1) Miaoziping Bridge

Miaoziping Bridgeは、成都と汶川の間に位置する成汶高速に位置している。橋長は $L=1,440\text{m}$ で、PCT桁部と上下部が一体となったPC-Box桁のラーメン橋からなる。なお橋脚高は、約 $h=100\text{m}$ と非常に高い。地震発生当時、この橋は建設中であつたが、伸縮装置と舗装を除き概ね完成していた。

写真-2に橋梁の全景を示すが、波線で囲んだスパンが落橋した。落橋したスパンでは、地震後支間長が約 0.69m 長くなったことが確認されている¹⁾。

写真-3は落橋したスパンの近撮であり、第1回目の調査時では、仮設の作業員用の通路が設置されていた。写真-4はそのスパンの支承部およびその周辺を拡大したものである（写真-3の波線枠部）。

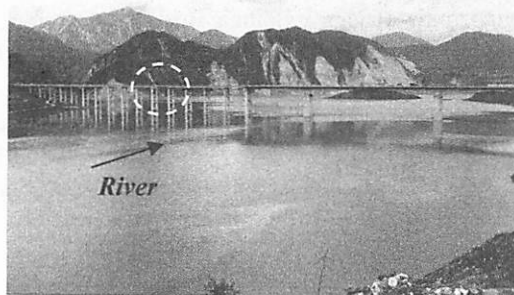


写真-2 橋梁全景

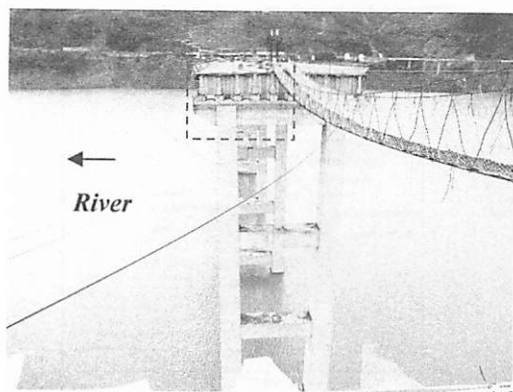


写真-3 落橋したスパン (PCT桁)

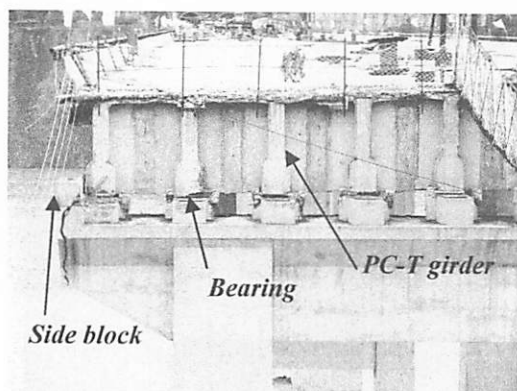


写真-4 支承部とその周辺の被害

この写真より、左端にあるPCT桁の外側に配置されているサイドブロックはせん断ひび割れが発生したが、これ以外のPCT桁両側のサイドブロックは、原型をとどめないほど損傷していることが判る。

写真-5に積層ゴム支承の被害を示す。これは大きな変位により設置されていた位置から逸脱したものであるが、この様子から大きな相対変位が発生ことが判る。またこの支承は、主桁および橋座面と完全に結合されていない構造であり、仮にボルト等で結合されていた場合、支承本体がせん断破壊していた可能性も否定できない。

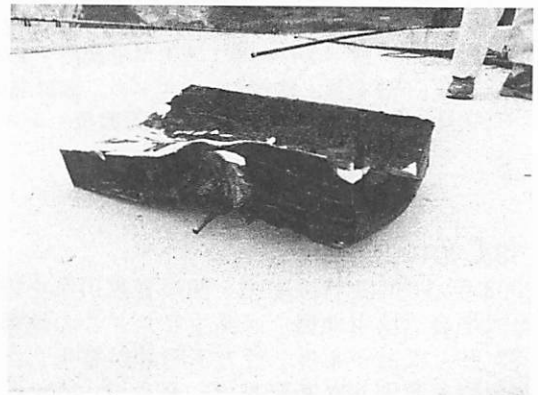


写真-5 損傷した積層ゴム支承

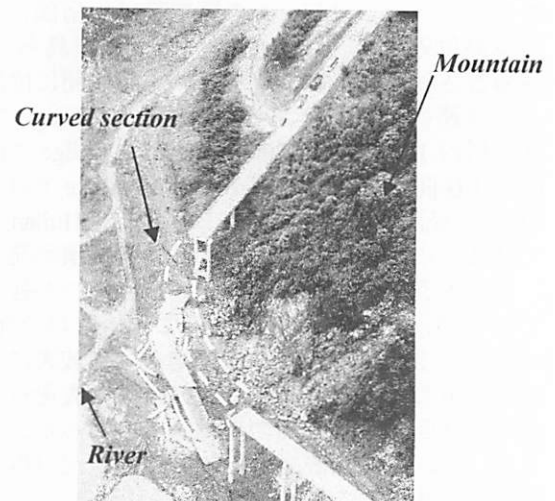


写真-6 落橋した4径間部 (曲線部)
(From SINA Corporation)



写真-7 爆破されたスパン

(2) Baihua Bridge

Baihua Bridgeは震央に近く、山の斜面と河川の境界に架設されていた。橋長は約 $L=500\text{m}$ で橋脚は約 $h=30\text{m}$ の高さであった。この橋梁は、都江堰と映秀鎮を結ぶ重要な路線にある橋梁である。写真-6に示すように、曲線区間である4径間部が落橋した。その後、救助や復旧のために、写真-7に示すように被害を免れた区間を人為的に爆破した。なお被害メカニズムは高橋ら³⁾により説明されている。

(3) Xiaoyudong Bridge

Xiaoyudong Bridgeは、震央から約50kmの位置で山岳部（山に囲まれた）に位置し、橋長は $L=187\text{m}$ の4径間である。この橋梁は日本ではあまり見られない構造であり、RIGID-FRAME ARCH BRIDGE⁴⁾

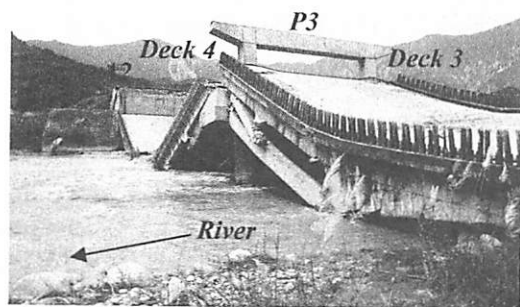


写真-8 落橋した2径間部 (Deck3・4)

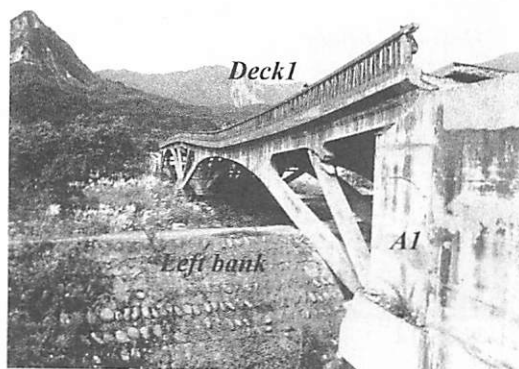


写真-9 損傷した1径間部 (Deck1)

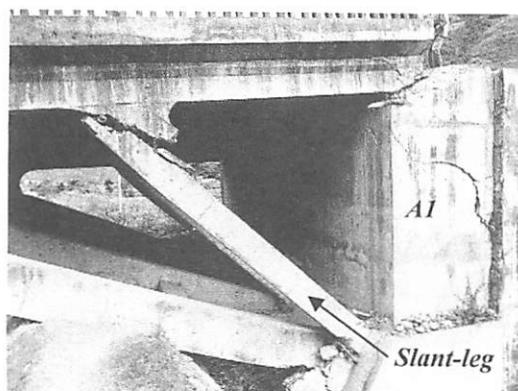


写真-10 損傷したA1橋台

と呼ばれて、ラーメン構造とアーチ構造の2つの特性を持つと考えられる。

写真-8に落橋した2径間部を示す。なおこの橋について左岸側からのスパンをDeck1、最も右岸側のスパンをDeck4と定義した。落橋した2径間について、P3橋脚の残留変形や基礎杭のひび割れ状態から判断すると、A2側の片側一方向に大きく変位した形跡が確認されている。写真-9に示すDeck1は、落橋こそ免れたが大きな残留変位や斜材の破壊が認められる。またこの斜材の一部は左岸側の堤防に食い込んでいるが、これは地盤の変位が要因である。なお写真-10は、写真-9で示したA1橋台を下流側から撮影したものであるが、この写真からも、斜材が堤防に食い込み、また斜材の破壊が確認できる。

(4) Huilan Bridge

Huilan Bridgeは、震央から約100kmの位置で、Mianyangの市内に位置する高架橋である。この橋梁は、他の橋梁と異なり平野部の市街地に位置し、鉄道と交差している。この高架橋は、本線と軽車両専用橋が分離され、軽車両専用部は4つのランプ部を含む形式となっている。4つのランプ部は概ね同様な形式であり、緩和区間を含む半径 $R=20.25\text{m}$ の曲線で縦断勾配が $i=約3\%$ （横断勾配は1%）からなる。これらの橋脚は $\phi=800\text{mm}$ の鉄筋コンクリート製で、基礎は杭基礎（単杭）である。写真-11に代表的なランプ部の全景を、写真-12に代表的な橋脚のせん断破壊を示す。

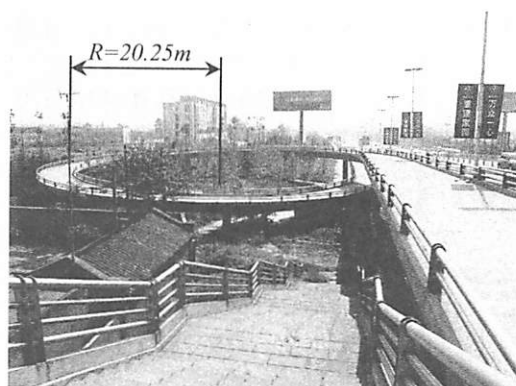


写真-11 ランプ部の全景

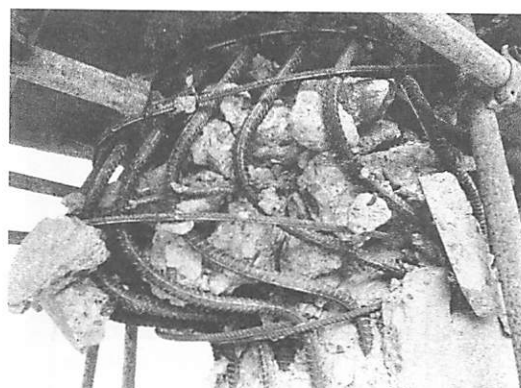


写真-12 代表的な橋脚の被害

この写真に示すように、いくつかの橋脚はせん断破壊が発生した。このような被害が発生した橋脚は、支承がなく上下部構造が結合された境界条件の部位（柱頭部）で発生している。特にこれらの橋脚には、PCより線によるプレストレスが導入されていたことが現地調査より確認された。なお、これ以外の橋脚部の支承は鋼製のスライド型可動支承で、また橋台部は積層ゴム支承による可動支承であった。なおこの橋には、落橋防止装置のような機能のデバイスは設置されていなかった。

4. 復興（再建・耐震補強）の状況について （第2・3回目調査）

ここでは、第2回目（2009年3月30日～4月1日）および第3回目（2009年9月25日～30日）の現地調査で得られた復興（再建・耐震補強）状況について、以下に報告する。

(1) Miaoziping Bridge

第2回目の調査では、落橋したPCT桁の架設が完了しており、また橋脚の補強工事を実施していた。上部構造の架設について、川島らの報告¹⁾で2008年10月頃から架設工事が開始されていることから、著者らの第1回目調査後に工事が開始され、第2回目である翌年3月までに架設が完了したと推測される。

下部の補強工事は、橋面上で鋼製フレームを組み立て柱頭部から基部に向けて挿入し、その橋脚と鋼製フレームの隙間にコンクリートを充填するような補強工法であると推測できる。これらは、水中での作業となるために考えられた工法と思われる。

その後、第3回目の調査時は、写真-13に示すように成汝高速が完成しており、Miaoziping Bridgeのすべての工事が完了していた。このため、車で高速を通過したのみであり、詳細に踏査することができなかった。なお、落橋したスパンは川島らの報告¹⁾にあるように0.69mの残留変位が認められたが、最終的にこれらがどのように修復されたのか不明である。なお、ダム湖の水位も以前に比べ高くなっていた。

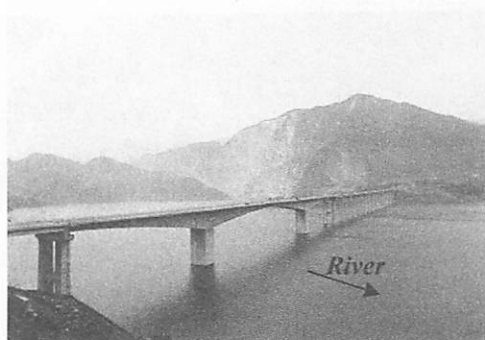


写真-13 完成したMiaoziping Bridge

(2) Baihua Bridge

第2回目の調査では、新しい橋梁の建設が開始されていた。写真-14に示すように、落橋した4径間部よりやや下流側に道路線形が変更されており、旧橋のS字タイプより、直線とシンプルな形式に変更されていた。橋梁の工事を確認すると、基礎構造は場所打ち杭であり、一部の橋脚では、柱部の鉄筋が組み立てられていた。

第3回目の調査では、第2回目調査時に確認した橋脚が概ね完成していた。また、左岸側では上部構造の主桁がエレクションガーダーを使用して架設されていた。なお主桁製作は、左岸側の河川敷地内で行われていた。新しい上部構造は、遠方からの目視であるため推測となるが、PCT桁形式で単純支持と考えられる。旧橋の上部構造がホロー形式であることから、上部構造の形式が変更されている。

なお、写真-15は爆破された旧橋の橋台背面付近から撮影したものであるが、この橋台背面側には震央に近いこともあり、震災を説明する記念碑が建設され、被害を受けたBaihua Bridge（爆破部）が確認できるように整備されていた。

(3) Xiaoyudong Bridge

第2回目の調査では、被災した橋梁の詳細測量を実施し、損傷部位の状態を確認することで、被害分析するための基礎資料を入手した。Xiaoyudong BridgeもBaihua Bridgeと同様に、異なる位置に新しい橋梁が建設されており、復興が進められていた。



写真-14 工事中の新しいBaihua Bridge
（第2回目調査）

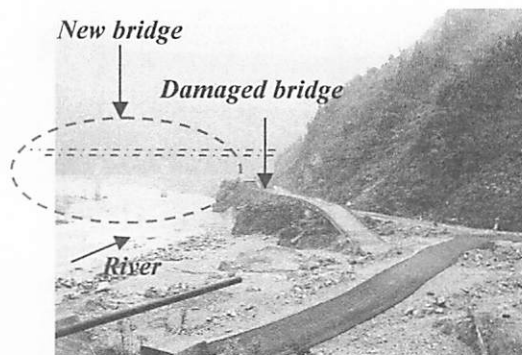


写真-15 橋脚が完成したBaihua Bridge
（第3回目調査）

旧橋はRIGID-FRAME ARCH BRIDGE⁴⁾と呼ばれる構造形式であるが、新設橋梁は単純支持のPC橋であり、旧橋よりも上流側に移設されている。



写真-16 完成したXiaoyudong Bridge
(第3回目調査)



写真-17 完成したHuilan Bridgeのランプ部
(第3回目調査)

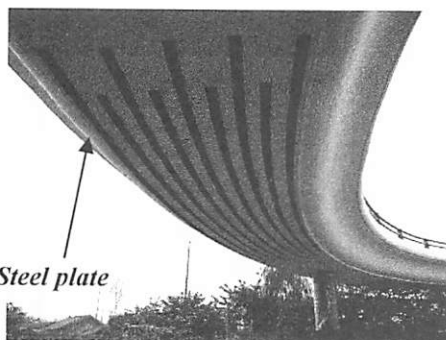


写真-18 鋼プレートによる上部構造の補強
(第3回目調査)

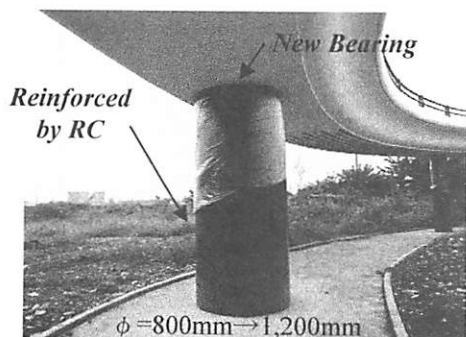


写真-19 RC巻立てによる橋脚の補強
(第3回目調査)

第3回目の調査時では、補足測量を実施して第2回目調査時の測量結果を充実させた。第2回目に建設中であった新設橋梁は、写真-16に示すように完成し供用していた。

(4) Huilan Bridge

第2回目の調査では、Xiaoyudong Bridgeと同様に詳細測量を実施し、被害分析を実施するための基礎資料を得た。また、この橋梁は補強等の様子は確認できず、初回に調査した時点と同じ状態であった。

第3回目の調査では、写真-17に示すように4つのランプ部の耐震補強工事が完了していた。上部構造は、橋脚が損傷し支点が沈下したために発生した残留変位とひび割れが修復されており、スラブ下面側は写真-18に示すように鋼プレートによる補強を、またスラブ上面はRC増し厚による補強が実施されていた。下部構造では、写真-12に示すようなせん断破壊した橋脚（またそれに準ずる被害）は、鉄筋コンクリートによる巻立て（ $\phi 800\text{mm} \rightarrow 1200\text{mm}$ ）が行われ、また支承条件が結合から支承構造に変更されていたが、この改善点は非常に興味深い。なおこれらの4つのランプ部の補強工事は、第2回目調査時から第3回目調査時の期間である約6ヶ月間で完了している観点から、整備速度は速いと思われる。

(5) 復興状況に関する考察

ここでは、第2回目（2009年3月30日～4月1日）および3回目（2009年9月25日～30日）の調査により現地で確認した復興（再建・耐震補強）の状況について、報告を行った。復興速度は全般的に早く、地域の復興や再建には輸送道路の再構築が重要であることを再認識した。ただし、限られた時間の中での調査であり十分な資料を得ていないため、被災した構造がどの様に残留変位を復元したのか、また橋梁位置における地盤構造など、興味深い点は多くあるが、今回の調査では明らかにできなかった。

またこの2回の調査により、Xiaoyudong BridgeとHuilan Bridgeは詳細測量を実施しており、現在、この2つの橋梁を対象とした被害分析を数値解析により検討している。

5. まとめ

汶川地震で被災した橋梁の概略調査や2回の詳細調査より、被害分析を行うための基礎資料の入手し、また被災した代表的な橋梁の復興（再建・耐震補強）状況を本論文で報告した。

写真-1に示す映秀鎮のような被災地域の早期復旧と再建を行うためには、被災地に向かうアクセス道路の整備が急務であり、その路線上に位置する橋梁の早期復旧は重要である。被災から約18ヶ月間で合計3回の調査を行い、その過程から復興速度の速さを感じた。また、復興の方法も、新しい位置に橋梁を移設したものや、被害を受けた橋梁をそのまま補強して整備するなど多彩である。特に大きな残留変

位が発生した部位の変位矯正をどのように対応したのかなど興味深い点はまだ明らかでないが、今後も調査を行い分析を実施すべきと考える。さらには、Xiaoyudong Bridgeと同様な橋梁が、この橋梁よりもやや平野部に位置しているが、この橋に目立った被害は確認されていない。すなわち、今回の地震の断層帯付近でも被害を受けた橋梁と受けていない橋梁があり、これらの被害関係を分析することも重要と考えている。

現在、Xiaoyudong BridgeとHuilan Bridgeの橋梁を対象に被害分析に関する数値解析を実施しており、これらの分析結果を得てから詳細な考察を追加・修正していく予定である。

謝辞：この研究は、福井工業大学：平成20年度学内特別研究費「四川地震で被災した橋梁の早期復旧を目指した補強工法の構築」の助成を受けて実施したものであり、その成果の一部をとりまとめたものです。また橋梁と断層の位置に関する資料を京都大学の高橋良和先生より資料の提供を頂きました。ここ

に記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1)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および小魚洞橋の被害，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，pp.97-104，2009.1.
- 2)Syuhei TAKEDA, Kenji KOSA, Jiandong ZHANG, Akihiko HIROOKA, Shinichi NII, Gaku SHOJI : *On the damage of bridges in 2008 Wenchuan Earthquake*, The Seventh International Symposium on Mitigation of Geo-hazards in Asia, 2009.12.
- 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および回欄立交橋の被害，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，pp.91-96，2009.1
- 4)Hong-wei REN, Wan-heng LI, Jin-quan ZHANG, Hai-bo CHEN : *INSPECTION AND DESIGN SUGGESTION ON RIGID-FRAME ARCH BRIDGE*, Chinese-Croatian Joint Colloquium LONG ARCH BRIDGES, pp309-316, 2008.7.