

## 2008年に発生した中国汶川地震による Hui lan 橋の被害とその特徴

竹田周平<sup>1</sup>, 幸左賢二<sup>2</sup>, 張 建東<sup>3</sup>, 庄司 学<sup>4</sup>, 廣岡明彦<sup>2</sup>Syuhei TAKEDA<sup>1</sup> Kenji KOSA<sup>2</sup> Zhang JIANDONG<sup>3</sup>  
Gaku SYOJI<sup>4</sup> and Akihiko HIROOKA<sup>2</sup><sup>1</sup> 福井工業大学工学部土木環境工学科<sup>2</sup> 九州工業大学工学部建設社会工学科<sup>3</sup> 中国・江蘇省交通科学研究院<sup>4</sup> 筑波大学システム情報工学研究科

2008年5月12日に中華人民共和国の内陸部に位置する四川省・汶川県を震源とする大地震が発生した。この地震の断層帯は長さ $L=300\text{km}$ で幅が $W=50\text{km}$ と規模が大きいことが特徴である。橋梁の被害について、震源地の近くに位置する建設中の高速道路高架橋や、甚大な被害が発生した映秀鎮へのアクセス道路である高架橋が落橋するなどの被害が確認された。著者らはこれまでに、地震発生後から半年間の間隔で3回の現地調査を実施し、被害を受けたいくつかの橋梁を対象に、現地調査や復興状況を継続調査してきた。本論文では、代表的な被害を受けた橋梁の説明と、都市部に位置するHuilan橋（コンクリート橋・ランプ構造）に着目し、その橋梁の被害とその特徴・復興状況について報告するものである。

キーワード：橋梁被害，復興調査，コンクリート橋，ランプ橋

## 1. はじめに

2008年5月12日に中華人民共和国・四川省の汶川県を震源とする大地震（汶川地震）が発生し、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位置する。被害は、例えば川島ら<sup>1)</sup>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Miaoziping橋では、PCT桁の1スパンが落橋し、Baihua橋では曲線部の4径間部が落橋、Xiaoyudong橋では4径間中の2径間で落橋が発生した。またHuilan橋では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、その後の復興状況の報告については文献<sup>2)</sup>に代表される。著者らは、代表的な橋梁被害に着目し、地震発生の約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。本論文では、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。

## 2. 調査概要と代表的な橋梁の被害概要

## (1) 調査概要と被害を受けた代表的な橋梁

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1回目の調査から約半年後の2009年3月末から4月に、第3回目は同様にその半年後の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、中でも特徴的な橋梁被害に着目した詳細測量や

現地踏査を実施したが、これらは今後、橋梁の被害分析を実施するためのものである。

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。代表的な被害でありここで紹介する橋梁は、震央の近くに位置するMiaoziping橋とBaihua橋、また震央から50kmの距離に位置するXiaoyudong橋と約100kmの距離に位置するHuilan橋の4橋である。これらの中でHuilan橋のみ市街地に、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。

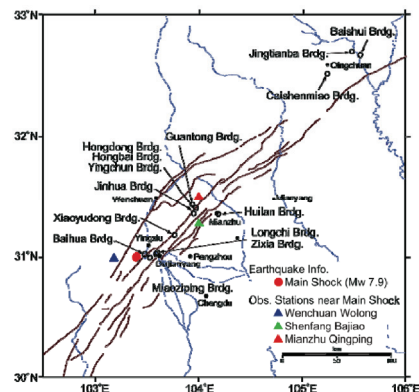


図-1 断層と橋梁との位置関係



写真-1 映秀鎮の地震後の様子（第1回目調査時）

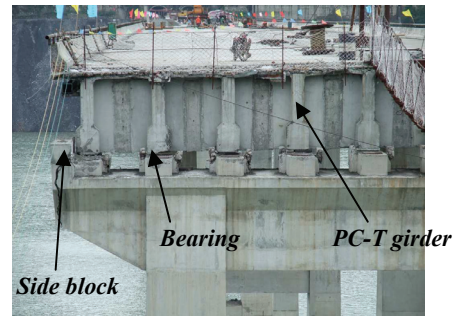


写真-4 支承等の橋座面の被害

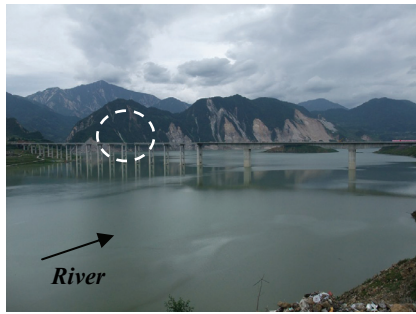


写真-2 Miaoziping Bridgeの全景



写真-5 損傷を受けた積層ゴム支承

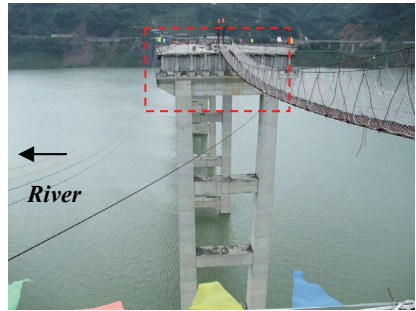


写真-3 落橋したスパン（PCT桁）

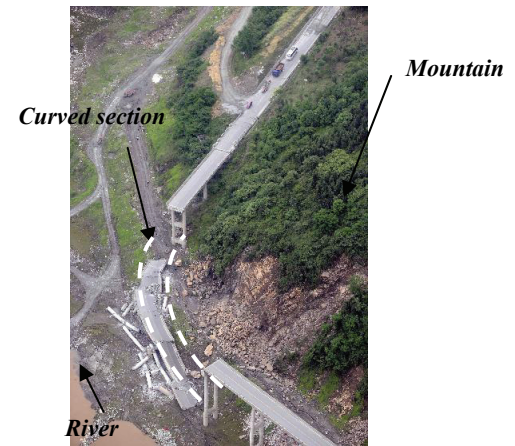


写真-6 落橋した曲線部  
(From SINA Corporation)

## (2) Miaoziping 橋

Miaoziping 橋は、成都と汶川を結ぶ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、ダム湖に建設されているため、約 $h=100\text{m}$ と非常に高いことが特徴である。地震発生当時、この橋は建設中であったが、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  $0.69\text{m}$  長くなったことが確認されている<sup>1)</sup>。

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）。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したと判る。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-7 人為的に爆破された高架橋

## (2) Baihua 橋

Baihua 橋は震央に近く、山の斜面と河川の境界に架設されていた。地形的な条件のためか、橋梁上で約  $90^\circ$  近く方向が変化するように曲線区間が設けられた線形であった。橋長は約  $L=500\text{m}$ で、橋脚は約  $h=30\text{m}$ の高さであり、円柱が二本といくつかの水平梁で構成された RC 橋脚であった。なおこの橋梁は、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、地震後曲線区間である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ではあったが、人為的に爆破された。なお被害メカニズムについては高橋ら<sup>3)</sup>により説明されている。

### (3) Xiaoyudong 橋

Xiaoyudong 橋は、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径間で構成される。この橋梁形式は日本ではあまり見られないラーメン構造とアーチ構造の2つの特性を持つ構造で、現地ではRIGID-FRAME ARCH BRIDGE<sup>4)</sup>と呼ばれている。この橋梁よりも下流側に同様の形式が確認されたが、調査時に交通規制はされていたものの、被害は受けていなかった。

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、A2 側の片側一方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、また斜材の破壊も確認できる。

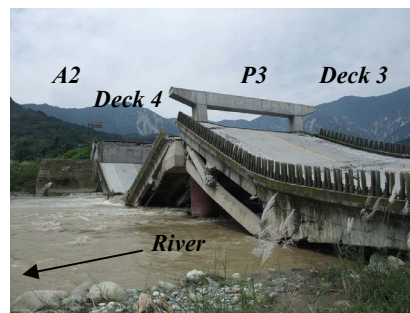


写真-8 落橋した2径間部 (Deck3・4)

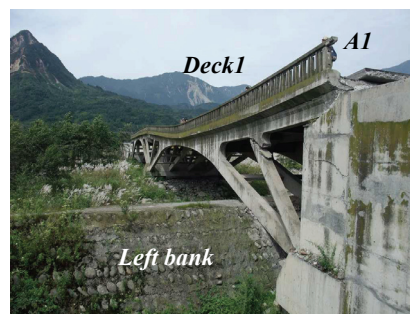


写真-9 損傷した1径間部 (Deck1)

### (4) Huilan 橋

Huilan 橋は、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構造形式であり、緩和区間を含む半径 $R=20.25\text{m}$ の曲線で縦断勾配が $i\approx 3\%$ (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円柱式で、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。

いくつかの橋脚は、この写真に示すような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。



写真-10 損傷したA1橋台



写真-11 ランプ部の全景

## 3. Huilan 橋の被害の特徴と復興状況

### (1) 本線部の被害と特徴

Huilan 橋は、前章の被害概要で述べたように、本線部と軽車両専用部及び歩道部が分離された構造形式である。

まず、本線である高架橋は、写真-13 に示すように、上部構造がPCスラブのコンクリート構造であり上下線が一体となっている。RC橋脚は天端に向けて緩やかに変化する構造となっているが、上部構造と異なり上下線部でそれぞれ独立した形式である。基礎構造は現地で確認出来ないが、並行する軽車両専用のランプ橋の基礎構造より杭基礎であると推測される。



写真-12 代表的な橋脚の被害



本線部の高架橋は、第1回目の調査時に目視による調査を実施したが、若干支承部で相対残留変位が認められた程度で、目立った損傷は確認されなかった。

(2) 4つのランプ部の被害と特徴

軽車両専用のランプ橋についてであるが、全部で4カ所ある中の3橋でRC橋脚の損傷、また桁端部の衝突などが確認された。このランプ橋の橋脚は、縦断勾配が  $i=3.19\%$  であることから橋脚高が徐々に高くなっているが、この中で、橋脚高さが低くかつ支承条件が剛結である橋脚で、せん断破壊もしくは曲げ破壊からせん断破壊に移行したような損傷が認められた。写真-14に代表的な円柱橋脚の損傷状況を示す。この写真からも判るように、帯鉄筋が十分配置されていないため、コアコンクリートが破砕していることが確認できる。また橋脚高さが高くなるにつれて、写真-15に示すように、橋脚基部に曲げ圧縮に伴うかぶりコンクリートの剥離や曲げひび割れが認められた。

せん断破壊を受けた橋脚で鉄筋の調査を実施したが、円柱式橋脚の主鉄筋径は D25 程度（主鉄筋本数は 20 本）、かぶりが約 60mm であることが判った。帯鉄筋については、鉄筋径が D10 程度、帯鉄筋の間隔は 200~250mm であった。帯鉄筋は重ね合わせのような継手構造であり、また十分な中間帯鉄筋も確認されなかった。

支承部について、せん断破壊が発生した橋脚で支点の沈下の影響を受けて、橋台部には写真-16に示す様にアップリフトが発生した。この部位におけるソールプレートに着目すると（写真-17）、ゴム支承が移動したような痕跡を確認できる。このことから推測すると、地震発生後から橋脚のせん断破壊が発生するまではある程度の相対変位を伴い変位したと推測できる。また伸縮継手部（ランプ部から跨線橋部のジョイント部）においては、写真-18に示すように、桁端同士が衝突した痕跡も確認できた。なおこの桁端部は現地にて計測した結果、約 50mm 程度の遊間であった。橋梁としては、橋梁が写真-14に示したような損傷に至ったため、水平方向で約 150~200mm 程度の残留変位が認められた。

ランプ橋の損傷状況から整理すると、構造高さが低く、かつ支承条件が剛結である円柱式橋脚の柱頭部付近に被害が集中していること、またRC橋脚の部材の損傷を伴いながら発生した支点の沈下により、上部構造や支承部にも被害が発生したことが被害の特徴である。

またこの損傷を受けた橋脚は、PCによる軸力を導入した構造であることも興味深い。現在、被害損傷を把握するための数値解析を実施しており、これらの結果・考察を得てから総合的に被害分析・メカニズムの解明を実施する予定である。



写真-13 本線部の橋梁の様子



写真-14 代表的な円柱式橋脚のせん断破壊



写真-15 円柱式橋脚基部の被害

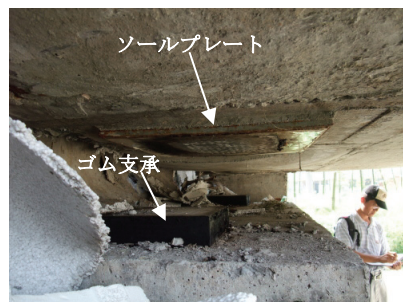


写真-16 橋台位置における桁端のアップリフト



写真-17 橋台部のソールプレートの痕跡



写真-18 伸縮継手部の損傷

## 4. Hui lan 橋の復興状況

### (1) ランプ部の復興状況

地震発生後から合計3回の現地調査を行った。第2回目の調査では詳細測量を実施し、被害分析を実施するための基礎資料を得たが、この時点では、補強等の様子は確認できず、第1回目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-19に示すように4つのランプ部（A～D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やひび割れが修復されており、スラブ下面側は写真-20に示すように鋼プレートによる補強（ $t=10\text{mm}$ 、 $W=100\text{mm}$ 、本数は9本）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-21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（ $\phi 800\text{mm} \rightarrow 1200\text{mm}$ ）が行われた。また写真-22に示す様に、当初は支承条件が剛構造であった部位は、支承構造（ゴム系支承）に変更されていたが、この改善点は非常に興味深い。写真-23に現場事務所前に紹介されていた補強工事の説明看板を示すが、この看板より基礎工についても補強（増杭）を実施したことが認められた。

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。

### (2) その他の復興状況

その他として、本線部の橋脚についても復興状況を確認した。写真-24に橋脚と橋座付近を示すが、写真の波線で囲まれた部位に、アンカーボルトをモルタル等で埋めたような痕跡が確認できる。震災後、本線の橋梁についても残留変位が認められており、今回のランプである軽車両専用橋の工事に合わせて、水平ジャッキを用いて残留変位をキャンセルしたと推測される。

なお、本線部の橋面も合わせて確認したが、伸縮装置の部分にも修繕したことが認められた。



写真-20 上部構造の補強



写真-21 円柱式橋脚の補強



写真-22 新設された支承（支点条件の変更）



(a) B ランプ部



(b) D ランプ部

写真-19 耐震補強後の様子



写真-23 補強工事の説明看板



写真-24 本線部の補強後の様子

## 5. まとめ

本論文では、2008年5月12日に中国四川省で発生した汶川地震で被災を受けたいくつかの橋梁の被害概要と、都市部に位置する Huilan 橋の被害とその特徴、また復興状況について報告を行った。地震発生から約2年後には、Huilan 橋のすべての補強工事が終了していたが、剛結構造の構造高が低い円柱式橋脚に被害が集中していることや、補強では基礎から橋脚・そして上部構造の橋梁全体の部位で補強を実施していた。特に支承条件を剛結から支承構造に変更するような構造系の変化については、どのようなコンセプトであったのか、非常に興味深い。

現在、現地調査の結果を踏まえて数値解析を実施しており、これらの結果を得てから被害のメカニズムに関する考察を実施する予定である。

## 謝辞

この研究は、福井工業大学：平成21年度（2年間の継続）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・呉智深・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・呉智深・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.