

新潟県中越地震で被害を受けた橋梁等構造物の調査と分析

幸左 賢二¹・山口 栄輝¹・猪熊 康夫²・田崎 賢治³

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

²正会員 工修 日本道路公団 技術部 構造技術課長（〒100-8979 東京都千代田区霞ヶ関 3-3-2）

³正会員 工修 大日本コンサルタント 九州支社構造技術部（〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-5-19）
（現 九州工業大学大学院工学研究科社会人博士課程）

1. はじめに

2004年10月23日17時56分、新潟県中越地方（北緯37.3度，東経138.9度，深さ約13km）を震源とするマグニチュード $M_j=6.8$ の内陸直下型地震が発生した¹⁾。

新潟県の川口町では最大震度7の非常に強い揺れを観測し，その後，震度6弱以上を観測する余震が4回発生するなど，活発な余震活動が続いたことが特徴である。今回の地震では，震央付近の川口町を中心として，住宅，建物，土木構造物，ライフラインなど，震源域の数10km四方の領域で様々な甚大な被害をもたらした²⁾。

筆者らは，地震発生翌日の10月24～26日と11月5～7日の2回にわたり現地に入り，土木構造物を中心に被害調査を実施した³⁾。

本文は，今回調査を行った中から，特に橋梁構造物の被害に着目した調査結果についてまとめたものである。

2. 地震動の特徴

防災科学技術研究所のK-NETによる強震記録⁴⁾の中で，震度6弱以上の大きな震度を記録した地点の最大加速度(PGA)，最大速度(PGV)，計測震度を表-1に示す。また，震源に近い小千谷市（震央距離約1km）で観測されたK-NET小千谷(NIG019)とK-NET十日町(NIG021)の記録に対する加速度応答スペクトル(減衰定数5%)を図-1に示す。図-1には比較のため，兵庫県南部地震の代表的な波形である神戸海洋気象台とJR鷹取駅の記録を併せて示している。

表-1より，最大加速度は小千谷の記録で1500gal（計測震度7相当），十日町の記録で1750galに達しており，兵庫県南部地震の神戸海洋気象台(818gal)やJR鷹取駅(657gal)の記録と比べて極めて大きいことがわかる。また，図-1に示す加速度応答スペクトルでは，K-NET

表-1 本震における強震観測記録の最大値⁴⁾

観測地点	記号	最大 加速度 PGA	最大 速度 PGV	計測 震度 I _j
K-NET小千谷	NIG019	1500.7	133.4	6.73 (7)
K-NET十日町	NIG021	1746.5	65.6	6.19 (6強)
K-NET長岡支所	NIG028	912.0	71.4	6.10 (6強)
K-NET小出	NIG020	639.3	39.7	5.54 (6弱)
K-NET長岡	NIG017	542.7	51.0	5.50 (6弱)

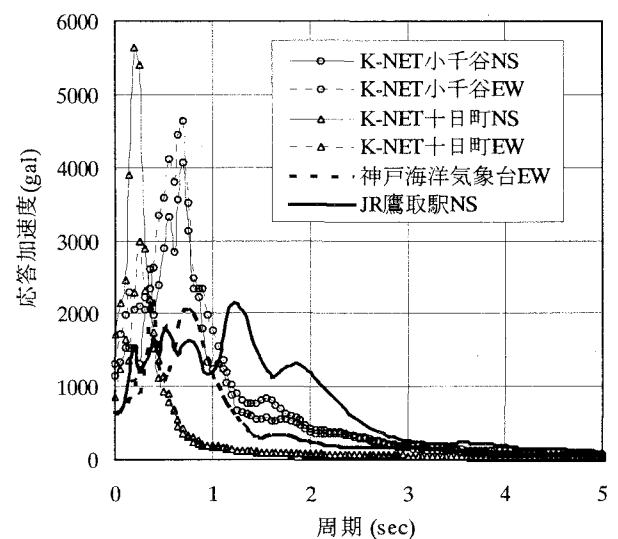


図-1 加速度応答スペクトル (h=5%)

十日町で0.5秒以下の短周期が，K-NET小千谷では0.5-1秒とやや長い周期が卓越しており，小千谷の記録で最大4600gal，十日町の記録で最大5600galに達している。特に小千谷の記録では神戸海洋気象台の記録をどの周期帯においても上回っている。しかし，建物の被害に大きな影響を与える1-2秒に着目すると，甚大な被害を引き起こした兵庫県南部地震のJR鷹取駅の方が大きい。

よって，今回の地震が0.1-1秒の周期帯で兵庫県南部地震以上の大きな地震動であったことがわかる。

3. 橋梁構造物等の被害概要

震源近傍の川口町、堀之内町、小千谷市、長岡市を中心に調査を行った。図-2に調査位置図を示す。

今回の地震における土木構造物の被害の主な特徴として、上越新幹線の脱線事故の発生、山岳トンネルの覆工コンクリートの剥落と路盤の隆起、自然斜面や土構造物被害の多発などが挙げられる。この中で、道路の被害では、関越自動車道や国道17号、国道8号をはじめとする幹線道路などで、盛土部の崩壊による道路の沈下や亀裂、また、路肩の滑り崩壊、斜面崩壊により道路が寸断する被害が生じた。一方、鉄道の被害についても甚大であり、盛土部の崩壊や沈下による軌道の蛇行や斜面崩壊による線路の寸断などの被害が生じた。また、トンネル内の路盤の隆起や覆工コンクリートの剥落、鉄道高架橋における橋脚の損傷などが生じた。

表-2 に、調査を行った土木構造物の中から、橋梁の被害に着目し、その概要を示す。

本項では、その中で、③上越新幹線魚野川橋梁と⑥関越自動車道芋川橋、⑦宇賀地橋、④飯山線魚野川橋梁の4橋に着目した調査結果について示す。

(1) 上越新幹線魚野川橋梁

本橋は図-3 に示すように、和南津高架橋に隣接し、魚野川を渡河するPC3径間連続箱桁橋である。

写真-1, 2 に示す損傷状況から、本橋脚の損傷形態は内側の軸方向鉄筋の段落とし部における曲げ破壊であると推察される。本橋の橋脚は図-4 に示すように、RC単柱式円形橋脚（直径 6500mm）で、損傷部付近の軸方向鉄筋（D32）は2段から1段配筋に段落としされており、軸方向引張鉄筋比は段落とし下部（2段配筋）で $\rho_t=0.44\%$ 、段落とし上部（1段配筋）で $\rho_t=0.22\%$ である。また、帯鉄筋はD19でフック無しの重ね継ぎ手で設置されており、帯鉄筋比は段落とし下部で $\rho_w=0.14\%$ 、段落とし上部で $\rho_w=0.07\%$ である。

現地の調査写真から橋脚の損傷図を図-5 に示す。図中にはP2とP3橋脚の橋軸および橋軸直角方向から見た損傷状況を示している。図より、P2、P3橋脚とも橋脚天端から9.5mの段落とし位置で水平ひび割れが生じており、水平ひび割れ付近で橋脚の高さ方向に幅13～1.8mにわたってかぶりコンクリートが剥落している。また、P2橋脚の橋軸方向側②では、コンクリートの剥離面積が最も小さいことと、P2、P3橋脚の橋軸方向①②⑤⑥では、損傷位置から下流側斜め下方向に向かって、橋軸直角方向に斜めひび割れが生じていることから、橋軸方向よりも直角方向に大きな慣性力を受けた可能性が高いと考えられる。

橋脚近傍で調査することができたP3橋脚について、

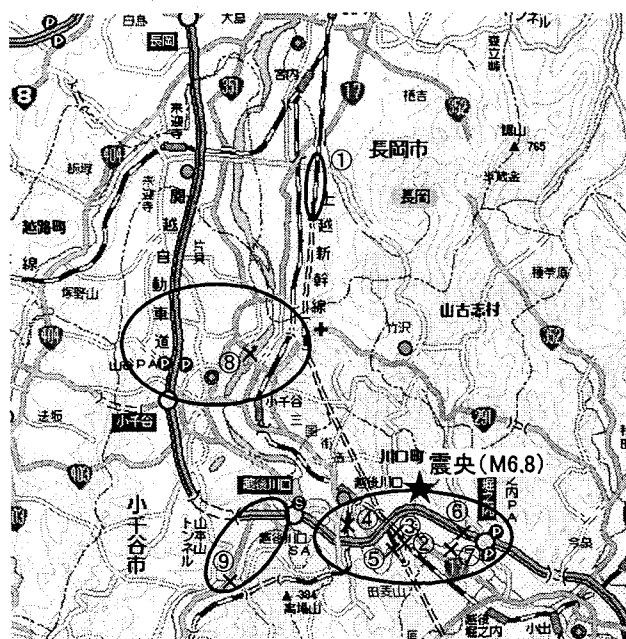


図-2 調査位置図

表-2 橋梁構造物の被害概要

No.	構造物名・場所	被害の概要
①	上越新幹線高架橋 長岡市十日町付近	・橋脚の損傷
②	上越新幹線 和南津高架橋	・橋脚の損傷
③	上越新幹線 魚野川橋梁	・橋脚の損傷
④	飯山線魚野川橋梁	・橋脚の損傷 ・橋台背面土の沈下
⑤	和南津橋	・桁衝突による橋台部の損傷 ・伸縮装置の損傷 ・支承部の損傷
⑥	関越自動車道 芋川橋	・桁衝突による橋台部の損傷 ・橋脚の損傷 ・支承部の損傷
⑦	宇賀地橋	・桁衝突による橋台部の損傷
⑧	小千谷大橋	・橋脚の損傷
⑨	魚沼橋	・橋台背面土の沈下 ・支承部の損傷 ・伸縮装置の損傷
⑩	新組跨線橋	・橋脚の損傷

コンクリートの剥離高さから軸方向鉄筋の平均座屈長を求めると1500mm程度となる。なお、軸方向鉄筋の座屈によるはらみ出し量は図-6に示すように、最大で200mm程度であった。また、損傷が生じた段落とし部では、軸方向鉄筋最外縁位置のコンクリートが圧縮破壊

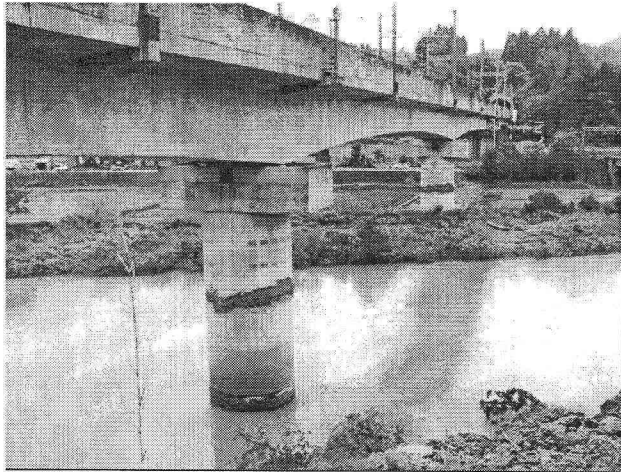


写真-1 上越新幹線魚野川橋梁の橋脚の損傷 (1)
(2004年10月25日)



写真-2 上越新幹線魚野川橋梁の橋脚の損傷 (2)
(2004年11月6日)

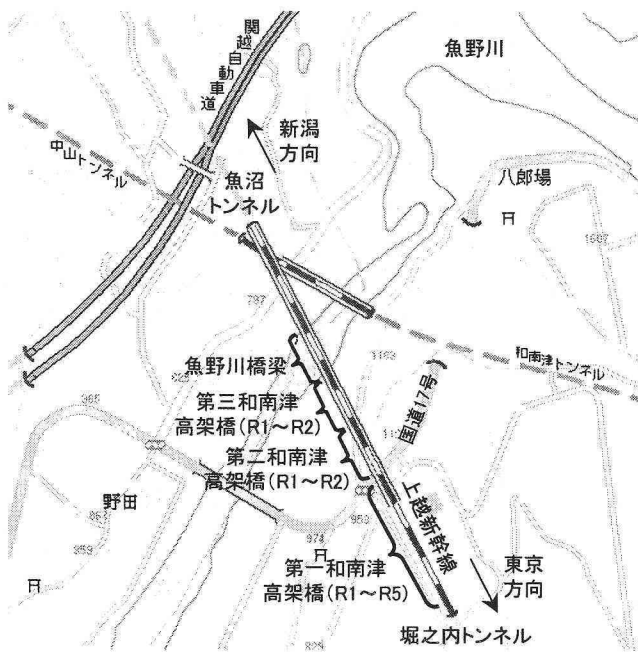


図-3 上越新幹線の和南津高架橋と魚野川橋梁の位置関係

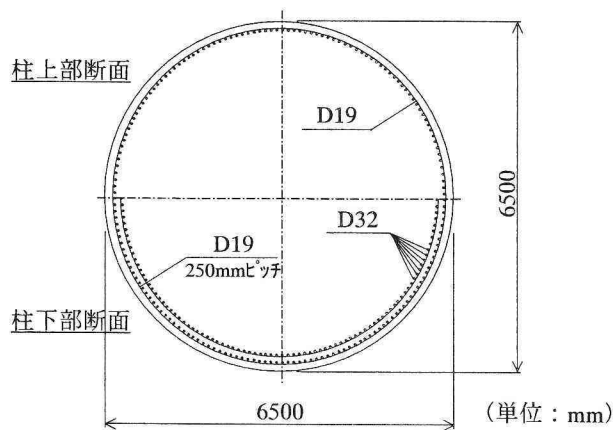


図-4 上越新幹線魚野川橋梁の柱断面図 (損傷部付近)

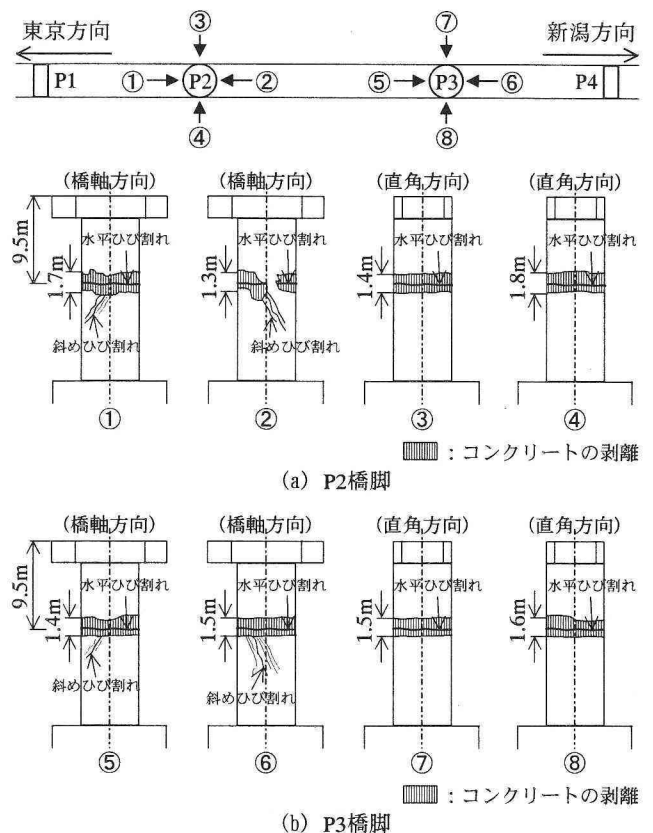


図-5 上越新幹線魚沼川橋梁の損傷図

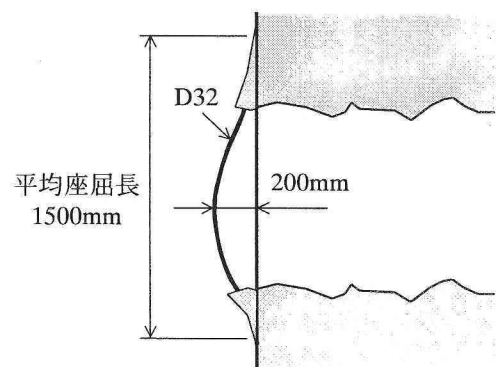


図-6 橋脚段落とし部における軸方向鉄筋の座屈

により砕けた状態であるとともに、概観の水平ひび割れ状況から判断して、水平ひび割れが内部コンクリートまで大きく進展しているものと考えられる。

今後、さらに詳細な分析が必要であるが、以上の損傷状況から推察される範囲の結果として、本橋脚は段落とし部において、 $3\delta y$ 程度の大きな応答変位が生じた可能性が高いと考えられる。

(2) 芋川橋

本橋は芋川を渡河する関越自動車の道路橋で、図-7に示すPC3径間連続箱桁橋である。

本橋は図-7中に示すように、固定橋脚（P1橋脚）で斜めひび割れが確認され（図中①）、可動橋脚（P2橋脚）では支承の損傷が見られた（図中②）。また、掛け違いのP3橋脚では、隣接桁を支持するRC突起部に、桁衝突が原因と見られるひび割れが（図中③）、同様に、A1橋台でも桁衝突の痕跡や橋台部に斜めひび割れが生じていた（図中④）。

まず、P1橋脚の損傷状況（損傷①）を図-8に示す。固定橋脚の形状は図に示すように、断面形状が $4.5 \times 7.0\text{m}$

の矩形断面である。斜めひび割れの中心は橋脚天端から 5.7m の位置であり、丁度この位置で、軸方向鉄筋（D32）が3段、2段、1段と段落としされている位置に合致している。したがって、本橋脚の損傷は段落とし位置で急激に曲げ耐力が低下していると同時に、段落としに伴う帯鉄筋の断面積の低下によって、せん断補強筋の負担するせん断耐力が小さくなっている。今後、さらに詳細な分析が必要であるが、調査した損傷状況から推察される範囲の結果として、せん断耐力の不足による斜めひび割れの可能性が考えられる。

次に、P2橋脚の支承部の損傷状況（損傷②）を図-9に示す。P2橋脚上の支承構造はピンローラー支承で2点支持であり、支承条件は可動である。

損傷状況はA1橋台側のローラーの逸脱により隙間が生じた状態になっていた。橋軸方向が可動条件であるにもかかわらず、このような損傷が生じた原因として、橋軸直角方向の慣性力の影響や、後述する桁衝突の影響により支承部に大きな水平力が作用した可能性も考えられるため、今後詳細な分析を行う予定である。

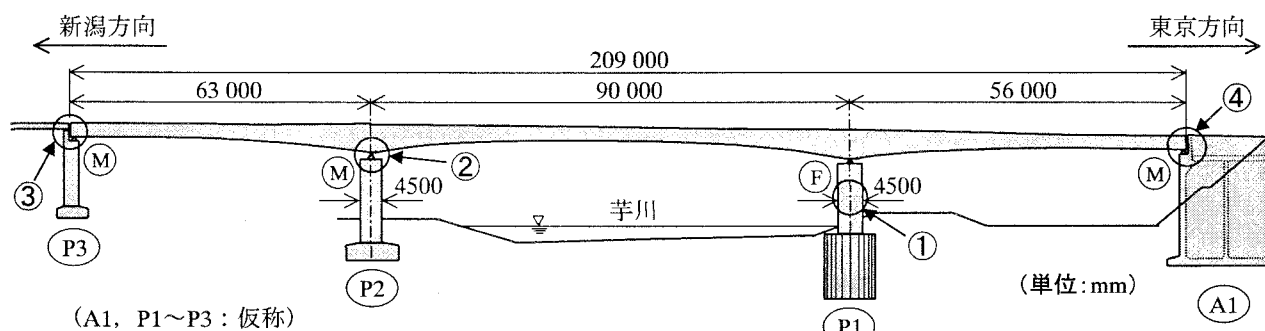


図-7 芋川橋側面図（下り線）

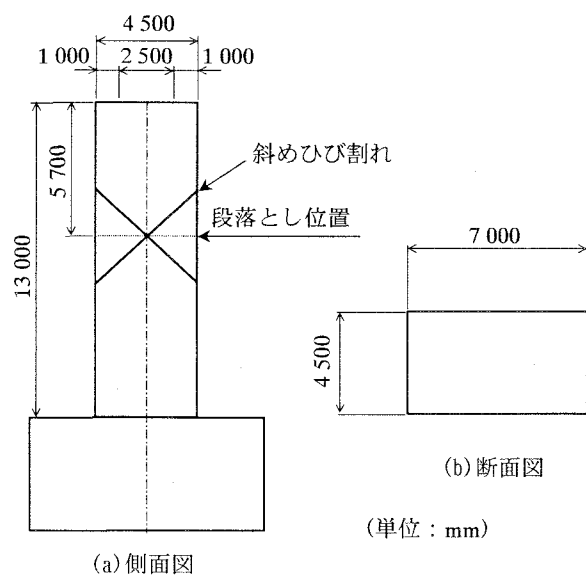


図-8 芋川橋（下り線）のP1橋脚形状と損傷状況①

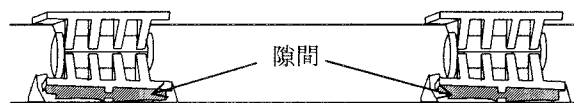


図-9 P2橋脚の支承部の損傷状況②（A1橋台側）

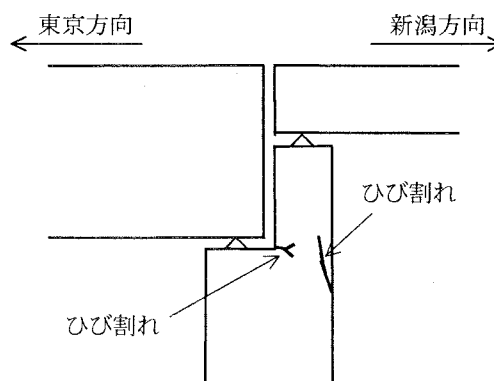


図-10 P3橋脚かけ違い部の損傷状況③

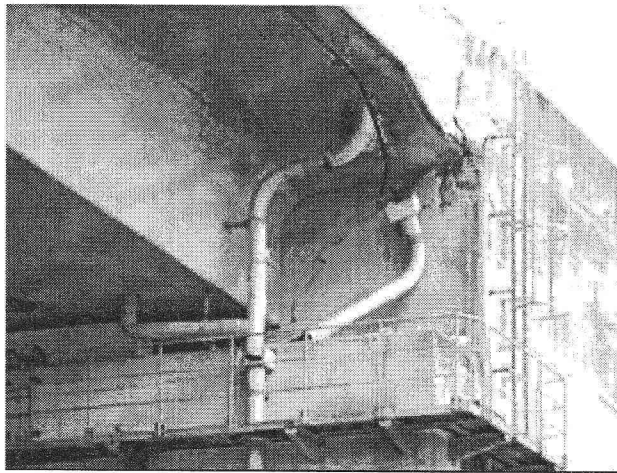


写真-3 芋川橋の桁と橋台の衝突の痕跡（下り線）
(2004年10月25日)

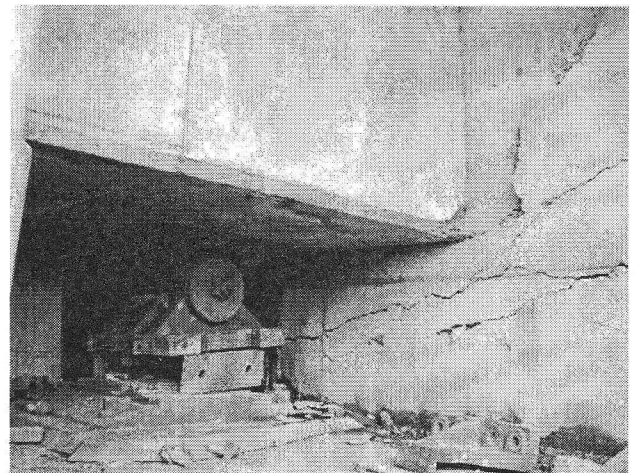


写真-4 芋川橋の橋台部のひび割れ（下り線）
(JHより入手)

次に、P3 掛け違い橋脚の損傷状況（損傷③）を図-10に示す。P3 橋脚は隣接桁を支持する突起部の付け根付近にひび割れが生じている。突起部のひび割れ発生状況から判断して、桁が突起部に衝突したと考えられる。

一方、東京方向の桁端部である A1 橋台部の損傷状況を写真-3、4 と図-11、12 に示す。写真-3、4 から、桁が橋台パラペットに衝突した痕跡があり、桁端部やパラペット前面のコンクリートの剥落やパラペットにめり込むようなひび割れが生じていた。また、写真-4 に示すように、支承部はローラーやサイドブロックの金具が脱落していることから、非常に大きな水平力を伴って桁がパラペットに衝突したと考えられる。図-11、12 に、それぞれ下り線と上り線の橋台部の損傷状況について側面図を示す。まず、図-11 の下り線側では、写真-3、4 に示したように、パラペット前面に桁衝突に伴うひび割れの発生とともに、橋台側面部にも斜めひび割れが発生している。一方、図-12 の上り線側では、橋台側面部のパラペットからウイングに向かって斜め 45 度方向に複数のひび割れが生じており、桁衝突の際に橋台が有効に抵抗したと考えられる。

本橋のような橋台の損傷形態はコンクリート桁が橋台パラペットに衝突する場合、橋台部のせん断応力はパラペットからウイングに流れ、衝突荷重をパラペットとウイングで抵抗することが解析的に確認された既往の FEM 解析結果³⁾と一致している。

このことから、本橋は橋脚や支承に損傷が生じたものの、橋台の変位拘束効果により、損傷が抑制された可能性が高いと考えられる。

(3) 宇賀地橋

本橋は 1991 年 10 月竣工の魚野川を渡河する県道 333 号線の道路橋で、鋼 5 径間単純鈑桁橋である。本橋も写真-5 に示すように、桁衝突の痕跡があり、橋台パラペ

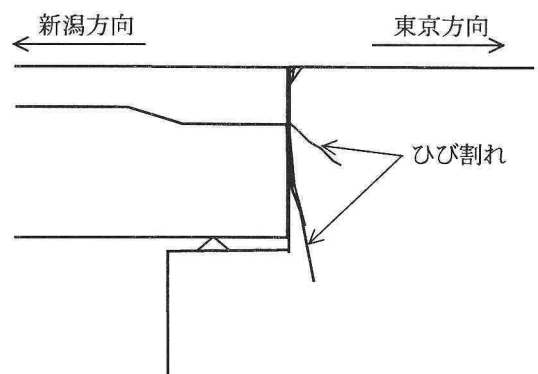


図-11 A1 橋台の損傷状況④（下り線）

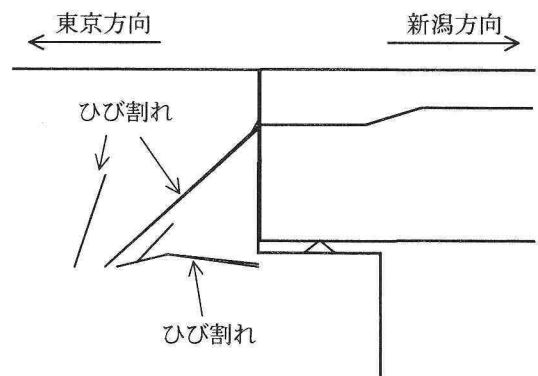


図-12 A1 橋台の損傷状況④（上り線）

ット部の基部から両側側面のウイングにかけて、10mm 程度の大きなひび割れが生じていた。桁端部やパラペットには、このひび割れ以外に損傷は見られず、先述の芋川橋のように、コンクリート桁が衝突した場合と比べて損傷形態は異なっている。本橋は鋼橋であり、図-13 に示すように、桁衝突に伴う水平力が桁端部の張出し床版部から、鋼製フィンガージョイントを介してパラペット上端部に作用し、パラペット基部に曲げひび割れが生じたと考えられる。

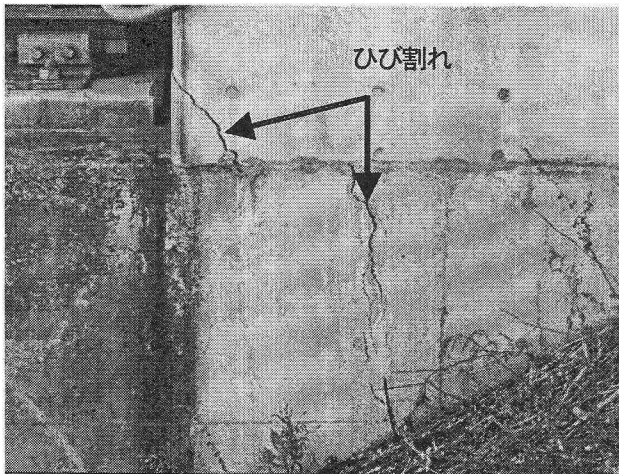


写真-5 宇賀地橋の橋台部のひび割れ（鋼橋）
(2004年11月6日)

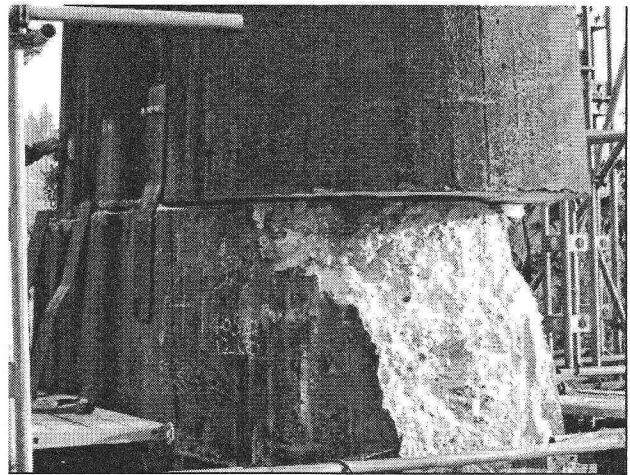


写真-6 飯山線魚野川橋梁の橋脚の損傷
(2004年11月7日)

(4) 飯山線魚野川橋梁

本橋は 1927 年竣工の古い河川橋である。河川堤防外側の橋脚は小判型で 2 段組の無筋コンクリート構造。堤防内側の橋脚は石積み橋脚となっている。被害状況は堤防外側の橋脚の水平目地部で、橋脚下部と上部のコンクリートが線路直角方向に最大で 300mm 程度ずれており、また、橋脚下部のコンクリートは大きく欠け落ちていた（写真-6）。また、橋台背面盛土の崩壊・沈下によって、レールが 1m 程度宙に浮いた状態であった。

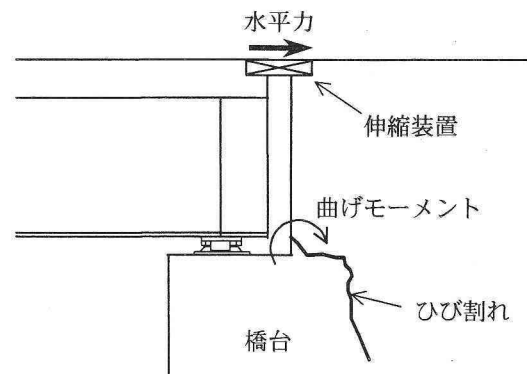


図-13 宇賀地橋橋台部の損傷状況

4. まとめ

新潟県中越地震において、特に、橋梁構造物の被害に着目した調査の結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 被害を受けた RC 単柱式橋脚の多くは、段落とし部の曲げ損傷であった。
- (2) 上越新幹線の魚野川橋梁における橋脚の段落とし損傷は $3\delta y$ 程度以上の、RC 断面としては終局に近い大きな応答変位が生じた可能性が高いと考えられる。
- (3) 関越自動車の芋川橋の固定橋脚における斜めひび割れは軸方向鉄筋の段落とし位置に合致していると同時に、帯鉄筋量の低下に伴うせん断耐力の不足に起因している可能性が考えられる。
- (4) 芋川橋では、桁と橋台パラペット部の衝突の痕跡が見られ、橋台側面部に斜めひび割れが確認できたことから、桁衝突時の橋台部の抵抗特性として、コンクリート橋の場合はせん断抵抗することがわかった。
- (5) 複数の橋梁で桁と橋台パラペット部の衝突の痕跡が見られ、桁衝突による橋台部の損傷形態はコンクリート橋と鋼橋で異なり、コンクリート橋の場合はせん断抵抗が、鋼橋の場合は曲げ抵抗が支配的であることがわかった。

以上の調査結果は、現地調査および JH、JR 東日本からの設計図の提供に基づくものであり、関係各位に謝意を表するとともに、今後は、動的解析等により橋梁構造物の被害の定量的な分析を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 気象庁 (2004) : http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004_10_23_niigata/sokuho/index.html
- 2) 新潟県中越地震災害対策本部 (2004) : 平成 16 年新潟県中越地震による被害状況について (第 96 報) , 平成 16 年 12 月 25 日 9 時 00 分
- 3) 九州工業大学災害調査団 : 平成 16 年新潟県中越地震被害調査速報版 (<http://www.civil.kyutech.ac.jp/pub/kosa/tjiken> HP/tyuuetujisin20041025.pdf)
- 4) 防災科学技術研究所 : K-net 強震ネットワーク, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 5) 田崎賢治, 幸左賢二, 新井伸博, 阿部弘典 : 桁衝突解析における橋台部の抵抗特性とモデル化に関する一考察, 第 59 回土木学会年次学術講演会講演概要集, I-162, 2004.9