

2004年新潟県中越地震による橋梁被害とその分析について —コンクリート構造物の被害—

睦好宏史

正会員 工博 埼玉大学教授 工学部建設工学科（〒338-8750 さいたま市桜区下大久保 255）

1. はじめに

2004年10月23日（土）17時56分、新潟県中越地方を震源とするマグニチュード6.8の地震が発生し、川口町では最大震度7を観測した。これ以降も、同日震度5以上の余震が10回発生し、新潟県中越地方を中心に、甚大な被害を引き起こした。著者は、土木学会および同コンクリート委員会より地震被害調査の要請を受け（土木学会新潟県中越地震災害緊急第一次調査団）、10月27、28日の2日間にわたって、主な構造物の被害調査を行った。ここでは、鉄道および道路コンクリート構造物の被害の概要と一部建物の被害ならびに、復旧状況を報告する。

2. 鉄道橋の被害

本地震で被災した鉄道橋の殆どは新幹線であり、在来線の高架橋被害は一次調査団の調査では確認されなかった。在来線については盛土の被害および地滑りによって土砂が線路に覆いかぶさるなどの被害が多かった。したがって、本報告では上越新幹線 RC 高架橋および RC 橋脚の被害について調査結果を報告する。一次調査団で調査した新幹線高架橋の一覧を表-1に示す。

今回被災した上越新幹線 RC 高架橋は、1972年6月の全国新幹線網建造物設計標準（東北、上越用）および1970年3月の建造物設計標準 鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物、プレストレストコンクリート鉄道橋に基づいて設計されている。したがって、2003年5月に発生した宮城県沖

を震源とする地震（三陸南地震）において被災した東北新幹線の RC 高架橋と同じ基準で設計された高架橋である。

被災した上越新幹線浦佐駅～燕三条駅間における RC 高架橋のうち、長岡市南部に位置する滝谷トンネル（東京起点キロ程 205k 647m）～長岡駅から北に 1km 程度の区間における RC 高架橋は、緊急耐震補強対策（関東運輸局：平成 7 年 8 月 3 日【関鉄技一第 128 号】「鉄道施設耐震構造検討委員会の提言に基づく鉄道構造物の耐震性能に係る当面の措置について」）の対象線区となっており、耐震診断の結果、耐震補強が既に施されていた高架橋も存在している。十日町高架橋 R1、R2 については、断層直上に位置するということもあり、せん断先行型との判断から耐震補強が行われていた。一方、これ以外の区間においては、少なくとも今回の地震発生時点では耐震補強は施されていなかった。

(1) 川口町和南津地区における被害

川口町内における上越新幹線の路線では、町東部の堀之内トンネル（東京起点 188k 560m～191k 860m）から魚沼トンネル（東京起点 192k 682m～201k 306m）まで 1km 程度のわずかな区間に高架橋や橋梁が設置されている。この区間における主な高架橋・橋梁の概略位置図を図-1に示す。これらの高架橋・橋梁のうち、第一和南津高架橋、第三和南津高架橋ではせん断破壊、魚野川橋梁においては橋脚中間部に曲げ損傷が生じている。以下、各構造物の被害について詳述する。

表-1 一次調査団で調査した鉄道高架橋・橋梁と損傷状況の一覧

構造物名称	東京起点 キロ程	No.または 橋梁形式	損傷箇所	損傷状況
第一和南津高架橋	191k 919m	R2 (1層)	柱 4 本	せん断破壊および重度の斜めひび割れ
			柱 1 本以上	軽微な斜めひび割れ
		R3 (1層)	柱 2 本以上	軽微な曲げひび割れおよび斜めひび割れ
		R4 (2層)	中層梁	軽微な曲げひび割れ
		R5 (2層)	中層梁	斜めひび割れ
第二和南津高架橋	192k 174m	R2 (1層)	柱 2 本	曲げひび割れ, 柱の角が剥離
第三和南津高架橋	192k 266m	R1 (1層)	柱 2 本	せん断破壊および重度の斜めひび割れ
		R2 (1層)	※	※せん断破壊, 軌道沈下
魚野川橋梁	192k 338m	2P, 3P (単柱)	橋脚 2 本	段落とし部曲げ破壊, 斜めひび割れ
十日町高架橋	206k 625m	R1, R2 (1層)		全柱に耐震補強済み
		その他		損傷なし
村松高架橋	206k 648m	R6, R7 (1層)	柱 4 本以上	かぶり剥落, 軸方向鉄筋座屈
		その他	柱 20 本以上	曲げひび割れ, 柱の角が剥離
東大新江橋梁	207k 658m	単純箱桁橋	壁式橋脚 1 基	かぶりコンクリート剥離
第一袋町高架橋	214k 333m	R2 (2層)	柱 1 本	かぶりコンクリート剥離
		その他		損傷なし

※ 一次調査団では未確認

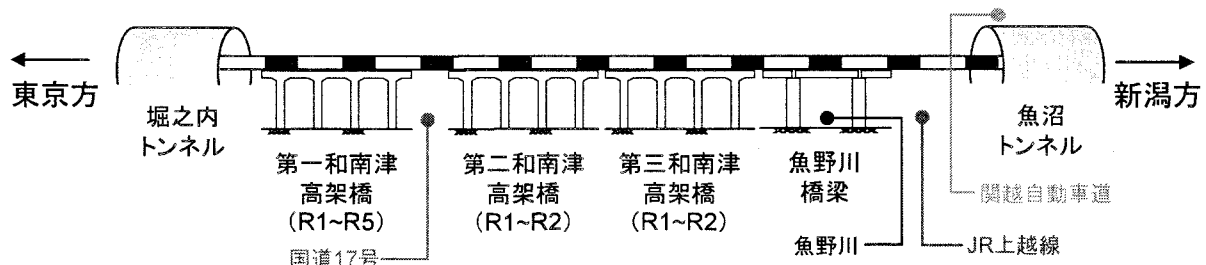


図-1 川口町和南津地区の高架橋位置概略図

第一和南津 R2 高架橋 (写真-1)

a) 第一和南津高架橋 (東京起点 191k 920m)

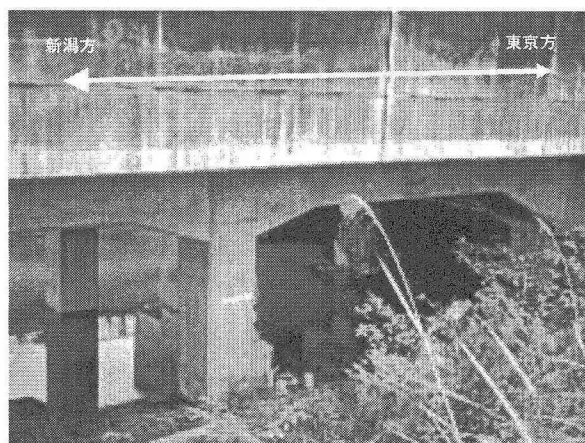
全部で5基のRC立体ラーメン高架橋 (R1~R5) と、それらを繋ぐゲルバー桁で構成されており、最も起点方に位置する R1 は引込み線があるために3径間連続1層2連ラーメン高架橋が2基並設されている。R2 と R3 は3径間1層, R4 は4径間2層, R5 は3径間2層ラーメンである。このうち、R2 において特に重度の被害が生じており、その他の R3 ~ R5 では比較的軽微な損傷が認められた。

3径間連続1層立体ラーメン高架橋の柱8本のうち、東京方および新潟方の3本の端部柱でせん断破壊が生じた (図-2, 写真-2 ①~③)。残りの1本の端部柱 (写真-2 ④) および中間部柱 (写真-2 ⑤) においても斜めひび割れが生じている。

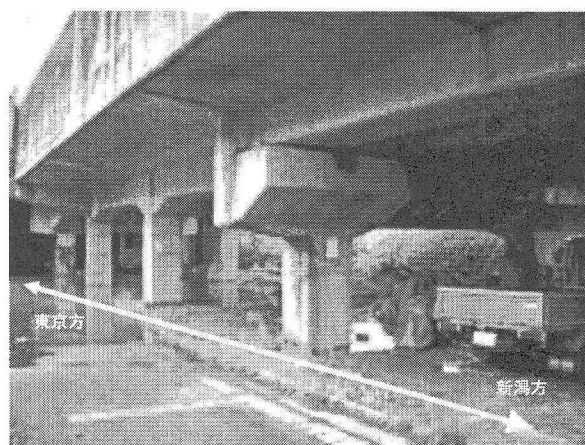
本高架橋の被害は、立体ラーメンを構成する柱のうち、桁受け部が設置されて柱高さが若干短い端部の柱において大きな損傷が生じる傾向が見られる。この被害傾向は、2003年5月に発生した宮城県沖を震源とする地震 (三陸南地震) において被災した東

北新幹線のラーメン高架橋の被害と非常に類似している。

特に重度のせん断破壊を生じた3本の柱は、いずれも断面寸法 $900 \times 800\text{mm}$ の角柱で、軸方向鉄筋は D32 が 26 本配筋されており、せん断破壊した部分には帯鉄筋として D10 が 300mm で配筋されていた。



(a) 西側面

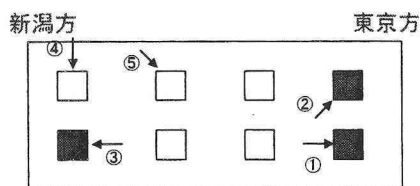


(b) 東側面

写真-1 第一和南津 R2 高架橋の近景



写真-2 第一和南津 R2 高架橋の損傷部



■ せん断破壊した柱

図-2 第一和南津 R2 高架橋の平面概略図
(丸数字は写真-2 の撮影方向を表す)

上述の配筋状況を元に、材料強度を仮定して算出した柱のせん断曲げ耐力比は 0.6～0.7 程度となる(せん断耐力は土木学会コンクリート標準示方書構造性能照査編(以下、土木学会示方書と略称)に基づいて算定)。また、この高架橋は柱高さが 5m 程度であるが、埋め戻し土の土被りが大きく、地上から 2m 弱程度が地上に露出している。すなわち、せん断破壊は地上 2m 区間で生じていることになる。

第一和南津 R4 高架橋 (写真-3)

4 径間連続 2 層立体ラーメン高架橋の中層梁(線路方向、線路直角方向)の端部に軽微な曲げひび割れが見られ、線路方向梁の曲げひび割れの方が若干大きい。柱の損傷は殆ど見られなかった。

第一和南津 R5 高架橋 (写真-4)

3 径間連続 2 層立体ラーメン高架橋の中層梁(線路方向、線路直角方向)に軽微な斜めひび割れが確認されたが、柱の損傷は殆ど見られなかった。

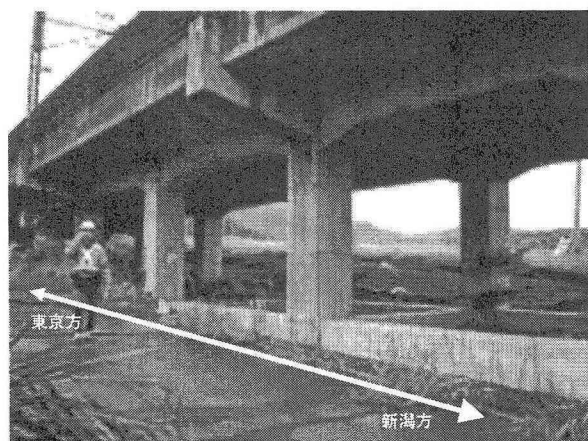


写真-3 第一和南津 R4 高架橋

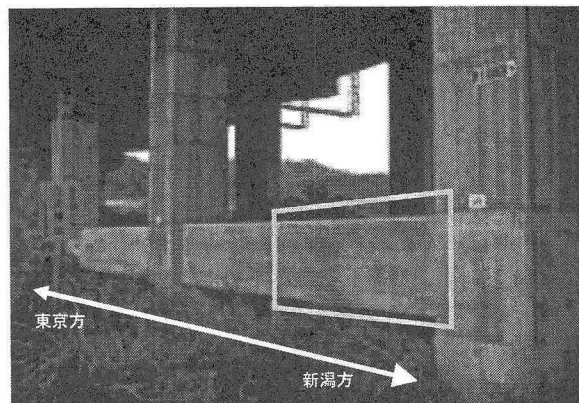


写真-4 第一和南津 R5 高架橋の損傷部

b) 第二和南津高架橋(東京起点 192k 174m)

全部で 2 基の RC 立体ラーメン高架橋(R1～R2)と、それらを繋ぐゲルバー桁で構成されており、いずれの高架橋も 3 径間 1 層ラーメンである。R2 においてラーメン高架橋の柱 8 本のうち、東京方に位置する端部柱上端部で曲げひび割れおよび柱角が剥落しているのが認められた(写真-5)。

c) 第三和南津高架橋(東京起点 192k 266m)

全部で 2 基の RC 立体ラーメン高架橋(R1～R2)と、それらを繋ぐゲルバー桁で構成されており、いずれの高架橋も 3 径間 1 層ラーメンである。これらの高架橋の桁下には消雪基地が併設されており(写真-6 参照)、R1 直下には屋外設備が設置されている。また、R2 の桁下は外壁で囲まれており、内部に消雪設備が設置されている。

2 基の立体ラーメン高架橋のうち、R1 において重度の損傷が認められた。R2 においても重度の損傷が生じていることが、後の二次調査団の調査により確認されたが、本報告においては R1 の被害について



写真-5 第二和南津 R2 高架橋の損傷部

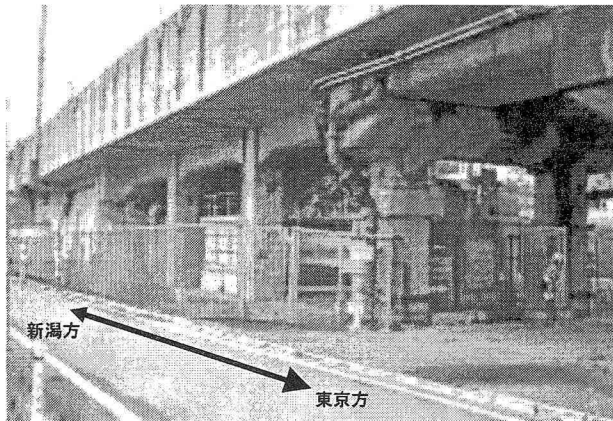


写真-6 第三和南津 R1 高架橋

てのみ記述し、R2 の被害詳細については二次調査団の報告に譲る。

第三和南津 R1 高架橋 (写真-7)

3 径間連続 1 層立体ラーメン高架橋の柱 8 本のうち、新潟方の 2 本の端部柱でせん断破壊(写真-7 ①、②)および大きな斜めひび割れ(写真-7 ③、④)が生じた。東京方の端部柱 2 本については、斜めひび割れの発生は認められず、柱上端部でかぶりコンクリートの剥落が見られた(写真-7 ⑥)。また、新潟方の中間部柱においても、上端部で斜めひび割れが確認された(写真-7 ⑤)。

本高架橋の被害は、第一和南津 R2 高架橋における被害と同様、2003 年 5 月に発生した宮城県沖を震源とする地震(三陸南地震)において被災した東北新幹線のラーメン高架橋の被害と類似している。

特に重度のせん断破壊を生じた 3 本の柱は、いずれも断面寸法 1100×1000mm の角柱で、軸方向鉄筋

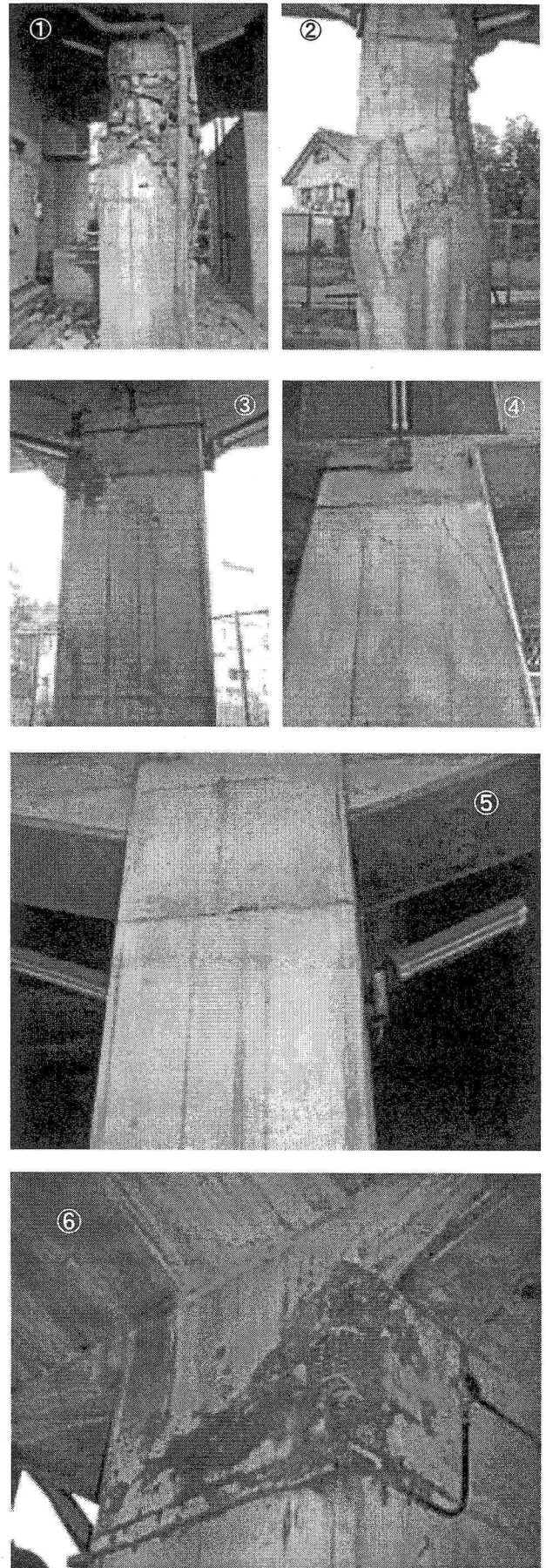
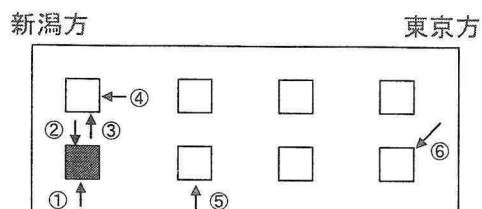


写真-7 第三和南津 R1 高架橋の損傷部



■ せん断破壊した柱

図-3 第三和南津 R1 高架橋の平面概略図
(丸数字は写真-7 の撮影方向を表す)

は D32 が 28 本配筋されており、せん断破壊した部分には帯鉄筋として D10 が 300mm で配筋されている。上述の配筋状況を元に、材料強度を仮定して算出した柱のせん断曲げ耐力比は 0.9～1.0 程度となる（せん断耐力は土木学会示方書に基づいて算定）。また、この高架橋は柱高さが 8m 程度であるが、埋め戻し土の土盛りが大きく、地上から 4m 弱程度が地上に露出しており、この区間で破壊している。

d) 魚野川橋梁（東京起点 192k 337m）

信濃川支流の魚野川を跨ぐ魚野川橋梁（3 径間連続 PC 箱桁橋）では、内側の 2P、3P 橋脚（直径 6.5m の円形 RC 単柱）において、高さ方向中央付近でかぶりコンクリートの剥落および軸方向鉄筋のはらみ出しが見られ、一部の帯鉄筋がはずれて落下している（写真-8～9）。軸方向鉄筋は 3 段配筋されており、内側の軸方向鉄筋の段落とし部において損傷している。帯鉄筋は、円弧形鉄筋 4 本を重ね継手によって 1 段の帯鉄筋としている（写真-10）。

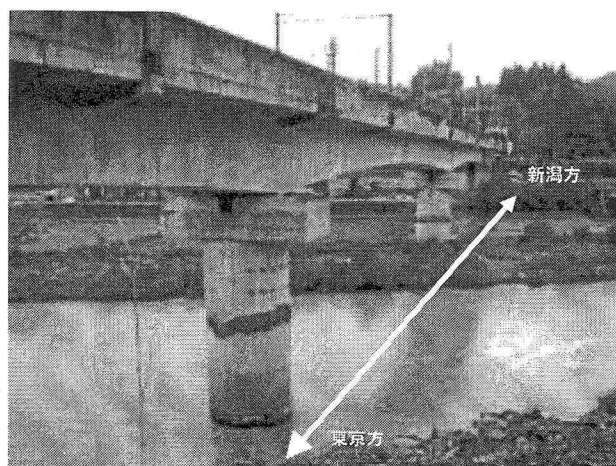


写真-8 魚野川橋梁（手前：2P、奥：3P）

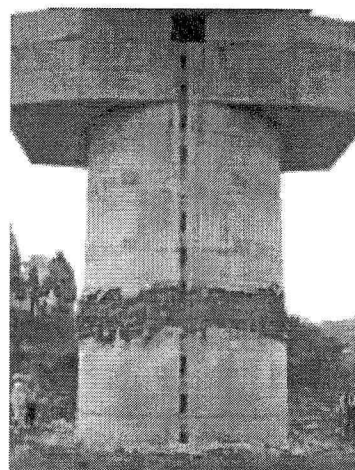


写真-9 魚野川橋梁（3P 橋脚北面）

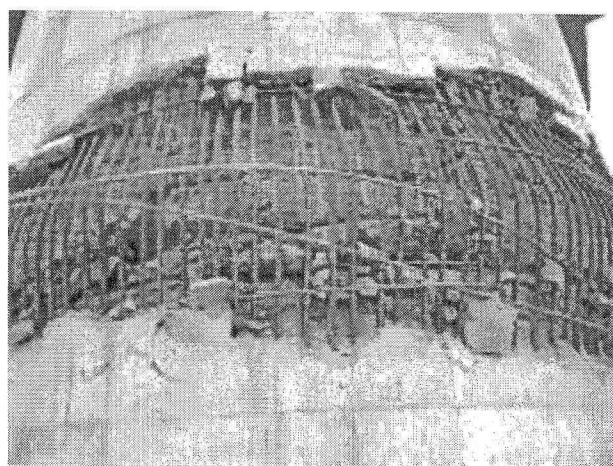


写真-10 魚野川橋梁 3P 橋脚の段落とし部の損傷

(2) 長岡市村松町・片田町付近における被害

小千谷市から長岡市に入り、滝谷トンネル（東京起点 203k 027m～205k 700m）からとき 325 号脱線現場（東京起点 207k 580m～830m）の区間においても、高架橋の軽微な被害が生じた。この区間における主な高架橋・橋梁の概略位置図を図-4 に示す。冒頭に述べたように、この区間は平成 7 年の運輸省通達における緊急耐震補強対策の対象線区となっており、一部の高架橋には既に耐震補強が施されていた。したがって、この区間においてはそれほど甚大な被害は生じておらず、村松高架橋および東大新江橋梁において軽微な曲げ損傷が生じている。以下、各構造物の被害について詳述する。

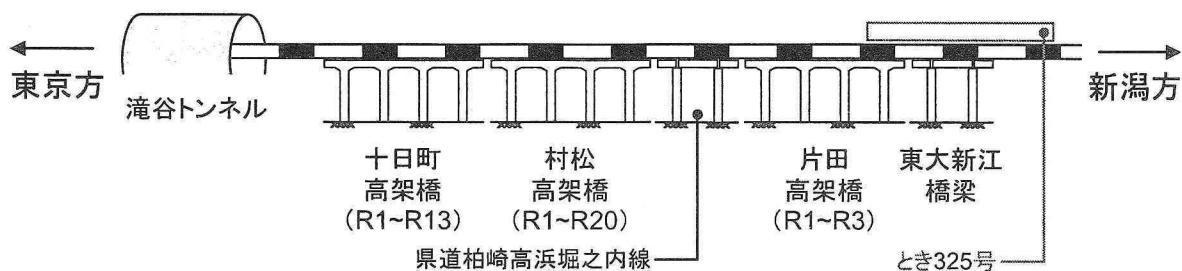


図-4 長岡市十日町・村松町・片田町近辺の高架橋位置概略図

a) 十日町高架橋 (東京起点 206k 057m)

全部で13基のRC立体ラーメン高架橋(R1~R13)と、それらを繋ぐゲルバー桁および道路・河川を跨ぐ橋梁で構成されており、R1~R5は1層、R6~R13は2層ラーメンである。このうち最も東京方に位置するR1高架橋およびR2高架橋(写真-11)については、断層直上にあるためにせん断破壊が先行するとの判断から、写真-12に示すように、既に鋼板巻き立てによる耐震補強が施されていた。これらの高架橋については、今回の地震では全く被害を生じおらず、耐震補強の効果が確認された。



写真-11 十日町 R2 高架橋近景

b) 村松高架橋 (東京起点 206k 648m)

全部で20基のRC立体ラーメン高架橋(R1~R20)と、それらを繋ぐゲルバー桁および道路・河川を跨ぐ橋梁で構成されており、R1~R5およびR12~R14は2層、R6~R11およびR15~R20は1層ラーメンである。これらの高架橋で多くの柱に比較的軽微な曲げ損傷が生じたが、このうち、R6高架橋およびR7高架橋において相対的に大きな損傷が生じている。これらの高架橋はいずれも3径間連続1層ラーメン高架橋であり、東京方および新潟方に位置する端部柱の上端部で、かぶりコンクリートの剥落および軸方向鉄筋の軽微なはらみ出しが生じた。また、中間部柱においても柱角に軸方向のひび割れが見受けられた(写真-12)。

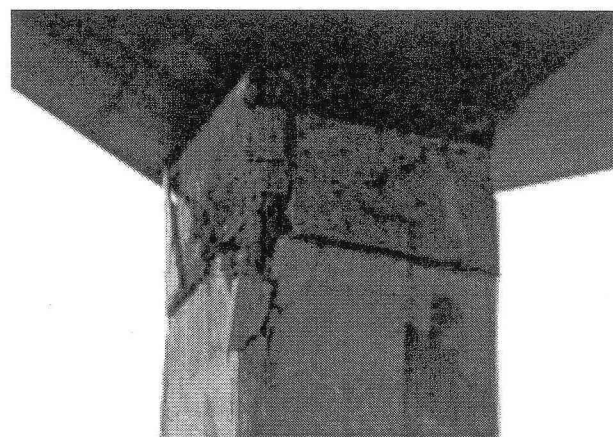


写真-12 村松 R7 高架橋

3. 道路橋の被害

(1) 小千谷大橋

小千谷大橋は、小千谷市内を流れる信濃川を南東から北西へ跨ぐ国道 17 号線の道路橋で、6 基の円形断面 T 型 RC 単柱で支持される連続桁橋（4 径間連続鋼箱桁橋＋3 径間連続鋼箱桁橋）である（写真-13）。架設年は昭和 57 年である。

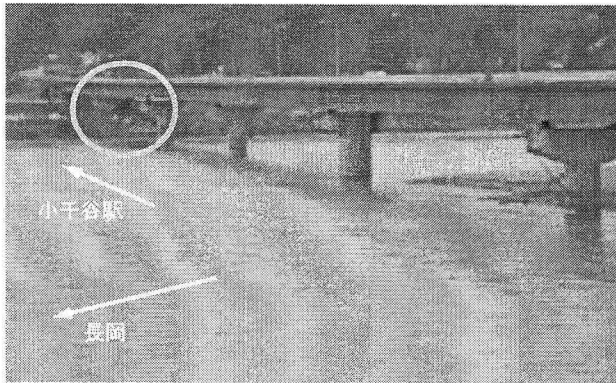


写真-13 小千谷大橋全景



写真-14 P2 固定支承橋脚の被害状況

（応急復旧作業前：京都大学防災研究所 澤田先生提供）

大きな損傷は東岸にある 4 径間連続橋の P2 固定支承橋脚で生じていた（写真-14）。土被り厚さは不明であるが、被害を受けた橋脚は、地表上に現れている橋脚高さが 6 基の中で最も小さい。現地で橋脚の直径を実測したところ、約 4.5m であった。被害としては、写真-14 や写真-15 に示されるように、橋軸直角方向と平行な面の柱部と横梁部との境

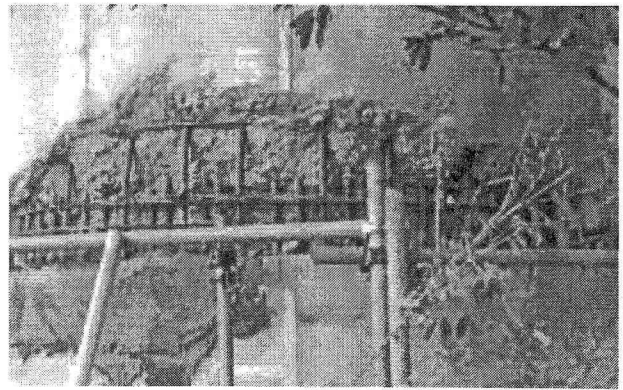


写真-15 P2 固定支承橋脚の被害状況



写真-16 橋軸方向面の斜めひび割れ

界付近において、かぶりコンクリートの剥落と軸方向鉄筋の座屈が見られ、また、帯鉄筋の重ね継ぎ手のはずれも観察された。かぶりコンクリートの剥落範囲内で軸方向鉄筋の一部が段落としされているのが確認された。橋軸方向と平行な面の柱には、斜めひび割れが発生していた（写真-16）。

写真-14 は地震発生直後に撮影されたものだが、地震発生後 5 日目（10 月 28 日）には、応急復旧作業（損傷部の断面修復、炭素繊維巻立てによるせん断耐力確保）が始められていた。

(2) 芋川橋

関越自動車道にある芋川橋は、橋長 271m（上り線）、295m（下り線）であり、上部工の構造形式は PC3 径間連続箱桁と PC4 径間連続中空床版である。また、供用年度は昭和 57 年度である。

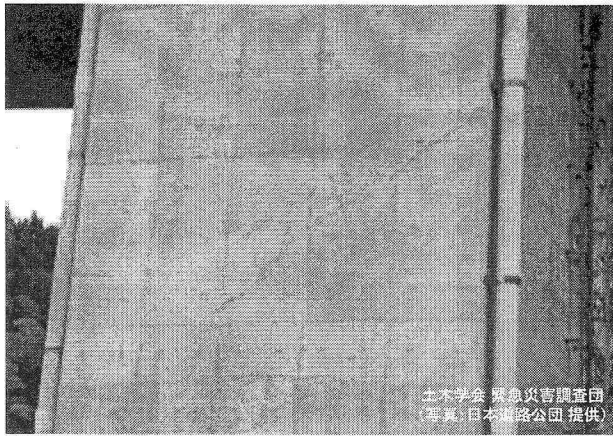


写真-17 P1 橋脚のひび割れ状況

P1 橋脚

被害を受けた P1 橋脚は、下り線に位置する固定支承の柱式橋脚であり、断面幅は、橋軸方向 4.5m、橋軸直角方向 7.0m であり、橋脚の躯体高さ 12.5m である。被害としては、橋軸方向平行面の柱中央位置に斜めひび割れが発生した（写真-5.2.7）。その後、復旧対策として、ひび割れ部に樹脂注入後、炭素繊維巻き立て補強が実施された（写真-5.2.8）。

P3 橋脚

被害を受けたのは、下り線の P3 橋脚（可動支承）段違い部である（写真-18）。P3 橋脚は、壁式橋脚である。写真-18 において、左側の上部工が PC 箱桁橋、右側が PC 中空床版橋になっており、PC 箱桁が右に押し出され、段違い橋脚頭部が損傷している。応急復旧として、ベント設置による仮受けが実施された。

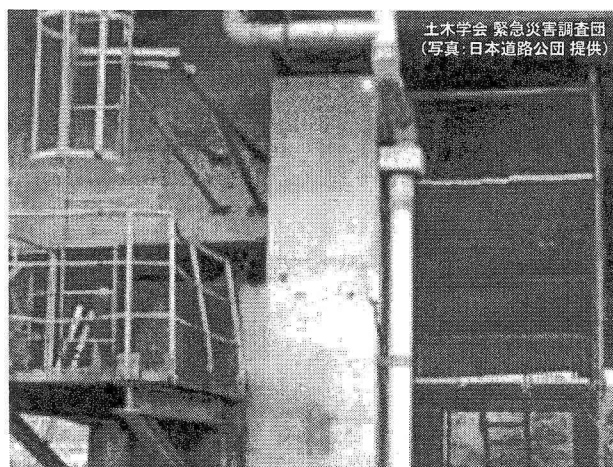


写真-18 P3 橋脚段違い部の損傷

4. 建物の被害

長岡高等専門学校(長岡高専)は、JR 長岡駅の

南東約 3km の小高い丘陵地にある。高専の建物の多くは、昭和 50 年以前に建設されている。主たる被害は、学校が立地する台地外周の地すべりによる建物の沈下であったが、一部の建物の RC 柱に大きなせん断損傷が見られた(写真-19)。なお、高専周辺では、道路の陥没が数多く見られたものの、家屋の倒壊などは確認されなかった。

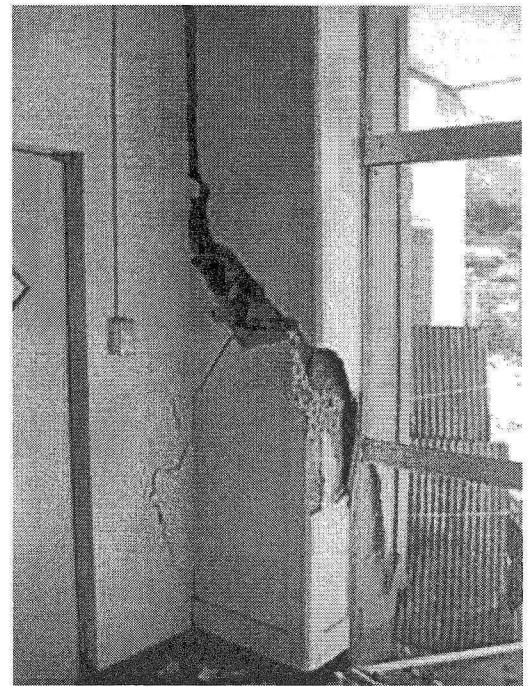


写真-19 学生寮(4 階建て)の 1 階 RC 柱で生じたせん断損傷の一例

6. 橋梁の復旧状況

著者等は被害を受けた高架橋および橋梁の復旧状況を調査するために、12 月 3 日に再度現地を訪れた。新幹線と南津高架橋では、被害を受けた高架橋を中心に耐震補強工事が行われていた。補強方法は、柱下端のフーチング上面まで地盤を掘削し（写真-20）、ひび割れの生じたコンクリートに樹脂注入が行われ、その後、アラミド繊維シートを接着してもとのコンクリート柱に復元した後（写真-21）、RB 耐震補強工法(図-5)により補強が施されていた。一方、魚沼川橋では段落し部において橋脚外側に軸方向鉄筋が配筋され、水中部の橋脚は鋼板を巻いて、その中にモルタルが注入され、陸上部の橋脚は橋脚外側にコンクリートが打設された（写真-22）。小千谷大

橋は、ひび割れが生じた箇所に、モルタルが注入され、その後炭素繊維シートを巻いて補強されていた(写真-23)。

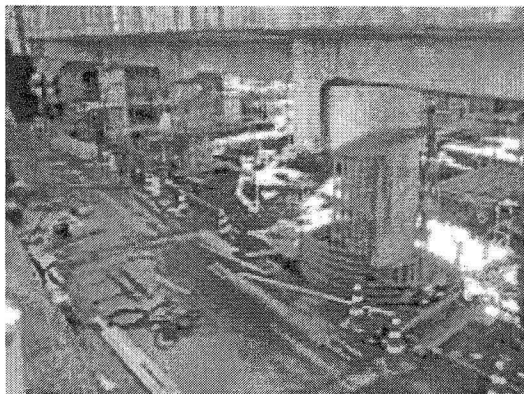


写真-20 和南津高架橋の復旧状況

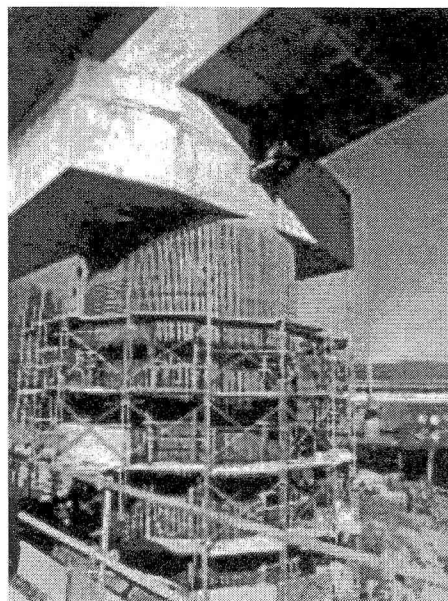


写真-22 魚谷川橋梁の橋脚の補強（内陸部）



写真-21 アラミド繊維シートによる補強

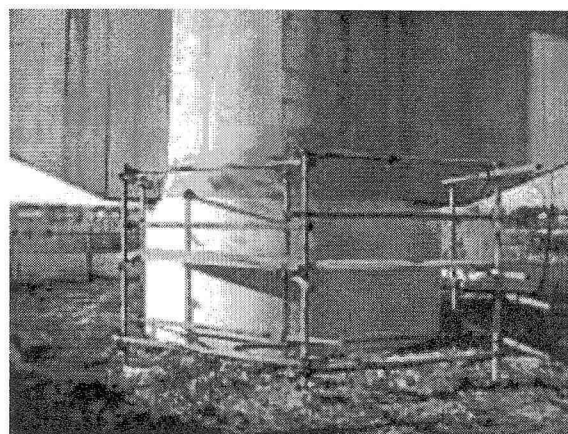


写真-23 繊維シートによる小千谷大橋の橋脚の補強

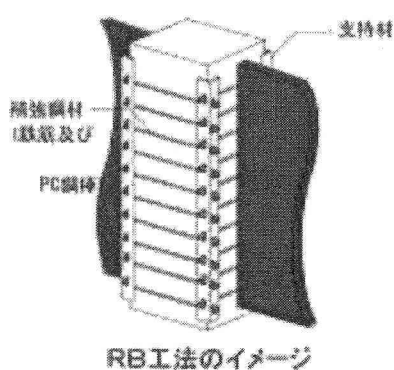


図-6 RB 補強工法⁴⁾

7. あとがき

本調査団に参加して頂いた、三島徹也氏（前田建設工業（株））、下村匠氏（長岡技術科学大学）ならびに資料などを提供していただいた JR 東日本、日本道路公団に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 土木学会 新潟県中越地震 第一次緊急災害調査団調査報告書, 2004
<http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/chuetsu/>
- 2) 土木学会 コンクリート委員会 新潟県中越地震 緊急災害調査団：コンクリート構造物の被害調査速報,
<http://www.saitama-u.ac.jp/material/niigata-eq/>
- 3) (社)土木学会・平成 16 年新潟県中越地震災害緊急調査：<http://www.jsce.or.jp/report/32/index.html>
- 4) 鉄道 ACT 研究会 PR 対象工法一覧, 2004