

付録

東日本大震災鋼構造物調査特別委員会
現地調査結果報告書

1. 調査目的

東日本大震災により被災した鋼構造物の現状、周囲の状況、復旧状況等を調査し、特に道路橋の落橋防止構造、伸縮装置、支承などの被災状況の確認を行う。また、津波により流失した構造物とその特徴、または流失しなかった構造物の特徴を把握するとともに、流出した構造物と流出しなかった構造物の対比も行う。

2. 調査日時

平成23年8月11日（木）～平成23年8月12日（金）

3. 調査メンバー

氏 名	所 属	備 考
高木千太郎	財団法人 東京都道路整備保全公社	代表者
中沢正利	東北学院大学工学部環境建設工学科	連絡代表者
山口隆司	大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻	会計責任者（調査は欠席）
舘石和雄	名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻	
酒井修平	中日本高速道路㈱ 名古屋支社	
佐々木保隆	㈱横河ブリッジホールディングス 社長室	
野澤伸一郎	東日本旅客鉄道㈱ 構造技術センター	
橘 吉宏	川田工業㈱ 橋梁事業部 東京部技術部	
本間宏二	新日本製鐵㈱ 建材開発技術部	
若林 大	㈱高速道路総合技術研究所	

1日目の調査では、東日本旅客鉄道㈱大庭氏、東日本高速道路㈱山田氏より、現地状況の説明および案内をしていただいた。

2日目の調査では、国土交通省東北地方整備局 東北技術事務所 小山田氏、東北地方整備局道路保全企画官 佐々木氏に同行していただき、調査にご協力いただいた。

4. 調査行程

本調査における調査範囲は、仙台市から大船渡市までの範囲であり、仙台市を起点として海岸線に沿って国道45号などを北上した。

【平成23年8月11日（木）】

- 10:00 仙台駅集合・出発
- 10:10 仙台駅付近 JR 新幹線高架橋
- 11:30 仙台東部道路 東部高架橋
- 14:30 新北上大橋（石巻市）
- 15:30 折立橋（南三陸町）
- 17:00 水尻橋（南三陸町）
- 18:00 初日調査終了
- 18:30 現地委員会開催

【平成23年8月12日（金）】

- 8:30 宿泊地出発
- 9:00 歌津大橋（南三陸町）
- 10:20 二十一浜橋（気仙沼市）
- 10:40 小泉大橋・JR 津谷川橋りょう（気仙沼市）
- 13:10 気仙大橋・姉歯橋（陸前高田市）
- 14:10 沼田跨線橋（陸前高田市）
- 15:50 川口橋（大船渡市）
- 17:00 JR 気仙川橋りょう（陸前高田市）
- 18:30 JR 一関駅で調査終了・解散



図1 調査位置図

5. 調査結果

以下に、今回の調査内容を対象構造物ごとに示す。

5-1 東日本旅客鉄道(株) (以降 JR) 新幹線 (仙台駅付近) 高架橋 (仙台市)



被災状況および復旧状況等について、資料をもとに JR 東日本の大庭氏より説明を受けた。

(1) 花京院 B

本橋の形式は単純剛性桁 (鋼単純箱桁) であり、今回の地震により、終点側の支承部で橋軸直角方向に 203mm ずれが生じ、これにより軌道狂いが発生した。(写真 1・2)



写真 1 花京院 B 全景

橋軸直角方向にずれが生じた支承は、写真3に示すピン支承で、ピンの破断位置は中央部の切り欠き部分であった。

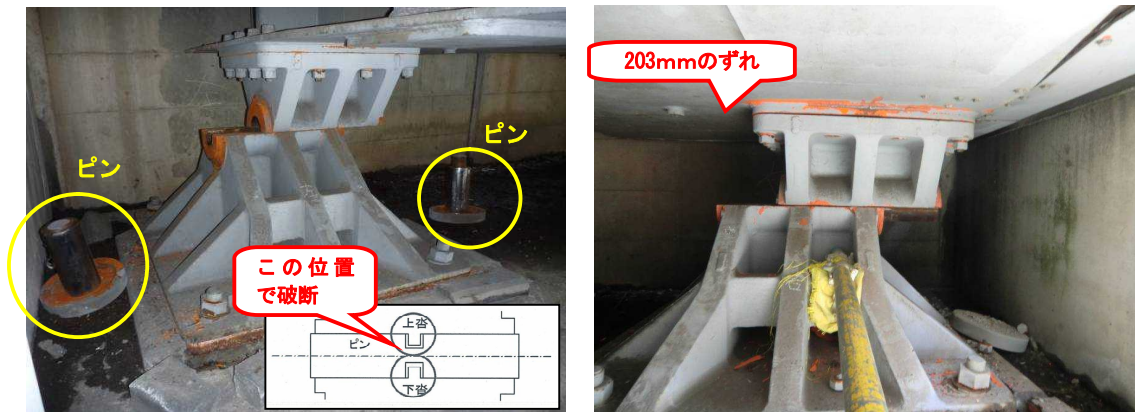


写真2 支承損傷状況

本橋の補修方法は、水平ジャッキにて正規の位置に橋梁を戻した後、鋼材にて橋軸直角方向に固定を行っている。(写真3)



写真3 補修完了状況

本補修は応急的な措置であるとともに恒久対策であり、支承の取替えは予定していないとのことであった。現地構造物は杳隠しがあったことから、これを反力にして移動制限装置の設置を鋼材で行うことが可能となったようである。

(2) 車通りBV

本橋は、地震時に橋軸直角方向に移動した桁が、橋脚に支持されている電柱基礎に衝突し、損傷したものである(写真4)。



写真4 車通りBVの損傷状況

復旧はアンカー筋を配置したうえで無収縮モルタルにて断面修復を行い、桁移動防止のための鋼製ストッパーを設置した。(写真5)。なお、本対策後に発生した4月7日の大規模余震の際には、鋼製ストッパーの効果が発揮され、桁の移動は生じていない。



写真5 鋼製ストッパー設置状況

(3) 第2小田原B L

本橋では今回の震災により、2層ラーメン構造橋脚中層梁にせん断ひび割れが生じた。

補修は浮きコンクリートの除去後、ひび割れ幅に応じて樹脂注入を行い無収縮モルタルにて断面修復を行った(写真6)。



写真6 第2小田原B Lの損傷状況と補修完了状況

(4) 跨線橋(県道)

付近の県道では足場が設置してある状況が確認された。本橋は塗替え塗装工事中に被災した。(写真7)。



写真7 吊足場が設置されていた跨線橋

5-2 東日本高速道路(株) (以降 NEXCO 東日本) 仙台東部高架橋 (仙台市)

被災状況、復旧状況および本復旧への課題について、NEXCO 東日本の山田氏、国土交通省東北地方整備局の佐々木氏より説明を受けた。

仙台東部高架橋は、H8 道示で設計された橋梁でゴム支承を全面的に採用しており、地震により初めてゴム支承の破断が確認された橋梁である。

上部工形式は、鋼連続箱桁および鋼連続鈑桁である。

支承部の主な損傷が生じた箇所は P52 (箱桁側) および P56 (鈑桁側) であった (図4・5)。



図3 仙台東部高架橋 位置図

【鈑桁部 (P56～P58) 断面図】

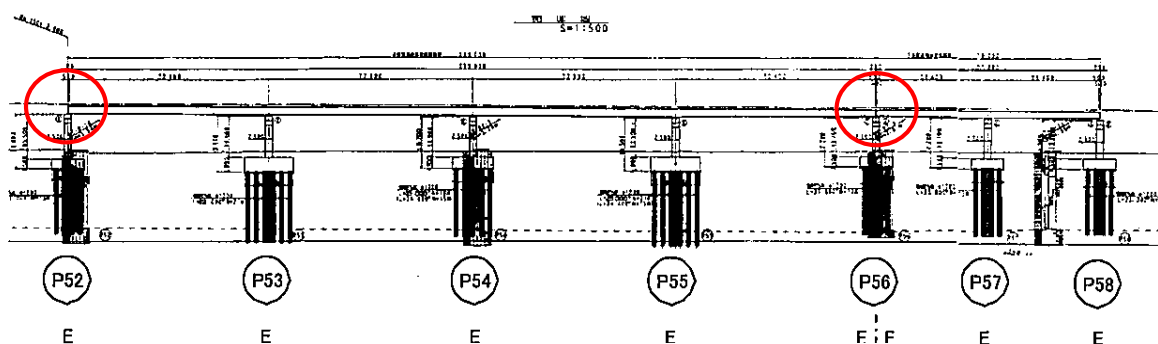
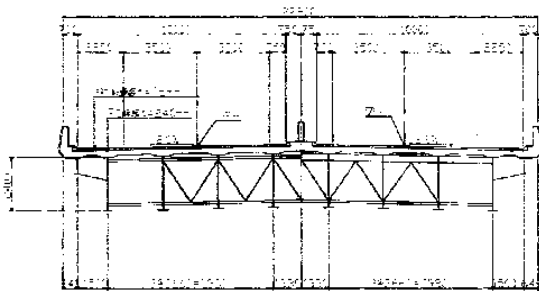


図4 仙台東部高架橋 (P52～P58) 一般図

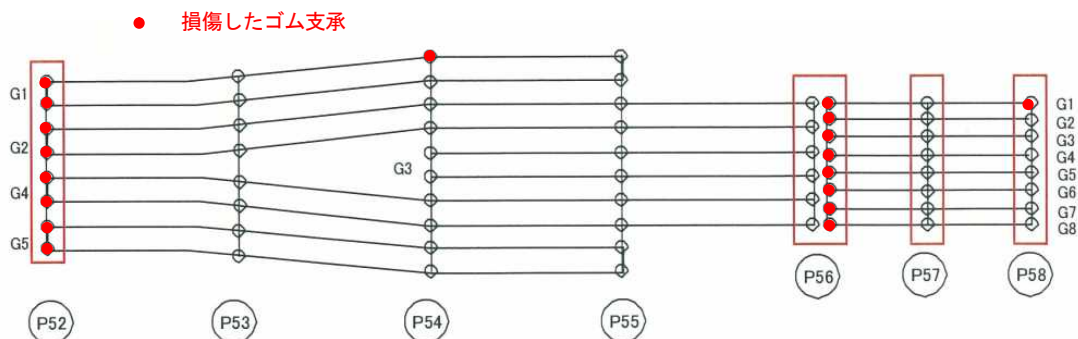


図5 仙台東部高架橋 (P52～P58) 支承配置図

ゴム支承の損傷を含む各種損傷状況を写真8～11に示す。



写真8 P56のゴム支承破断状況



写真9 P56上の鋼製フィンガージョイント



写真10 P56上のジョイントプロテクター



写真11 P56上の落橋防止ケーブル

仙台東部高架橋は動的解析による支承部の設計を実施していないため、現在、NEXCO 東日本において設置された検討委員会にて、動的解析による検証が実施されているところである。

P56(鈑桁側)のゴム支承破断がもっとも印象的であったが、箱桁側には損傷がみられない(写真8)。P56上には鋼製フィンガージョイントが設置されており(写真9)、フィンガー同士の接触跡が認められた。すなわち、地震初動時にはフィンガー同士が接触して箱桁(P52～P56)に引きずられるように鈑桁(P56～P58)が挙動し、ゴム層厚の小さい鈑桁側のゴム支承が破断し、路面に大きな段差を生じさせたものと推察されている。

その他の損傷として、ジョイントプロテクター(橋軸直角方向)が全て破損していた(写真10)。これはレベル1程度の耐力しか期待していなかったためやむを得ないが、中には脱落防止用チェーンが破断しているものもあったため、今後、チェーンに作用する慣性力を想定した設計が必要と思われる。なお、このジョイントプロテクターは、震災以前の地震でも破損した経緯があった。

また、落橋防止ケーブルが各主桁に設置されていたが、ほぼすべてのケーブルに強い緊張力が入っており(写真11)、落橋防止の役割を果たしたと考えられる。

仙台東部高架橋の応急復旧の状況を写真12～15に示す。支承部の損傷に伴い対傾構や補剛材の損傷が見られたが、これらの応急復旧は既に完了している。



写真12 P56 復旧されたゴム支承



写真13 P56 ジャッキアップ用ブラケット



写真14 2次部材の補修



写真15 ベント支持用に設置された補剛材

また、仙台東部高架橋ではインターチェンジの増設に伴うランプ橋工事が施工中であり、部材同士の接触などによる損傷がみられた（写真16）。

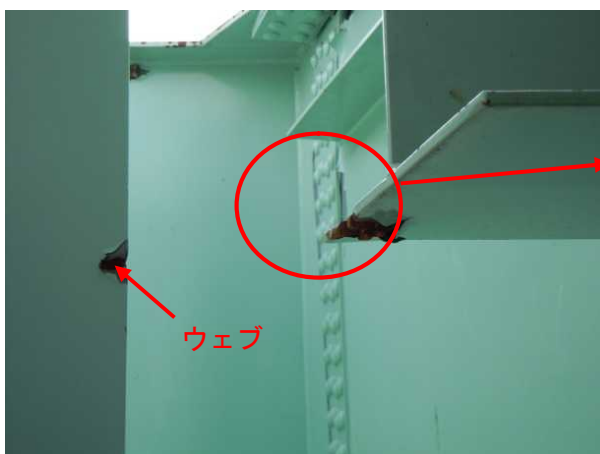


写真16 ランプ橋の部材損傷状況

損傷したゴム支承はすでに交換済みであり、撤去したゴム支承は別のヤードに保存されていた。代表的な損傷状況を写真17に示す。なお、鋼板の変形および腐食は、支承撤去時および撤去後に生じたものである。



写真17 撤去された損傷したゴム支承

ゴム支承の損傷断面は、ゴムと鋼板の接着部が多い印象であったが、損傷している断面は一樣ではなかった。

5-3 新北上大橋（石巻市）

新北上大橋は、北上川の最も下流側に架かるトラス橋である。本橋は津波による被災を受け、起点側の2径間が流失した。本橋の流失により道路交通が寸断されており、北上川を渡るために大きく迂回する必要が生じている。



図6 新北上大橋 位置図



写真18 新北上大橋 全景

流失した桁を支持していた橋台・橋脚部では、落橋防止ケーブルの破断、変位制限ブロックの破損などがみられ、支承は桁とともに流失していた。



写真19 新北上大橋 P2付近

落橋防止ケーブルの損傷は、ケーブルが破断しているケースがほとんどであり、取付部材のアンカーボルトのナットが抜け外れているケースも見られた。



写真20 新北上大橋 A1付近



写真21 落橋防止ケーブル損傷状況

また、現地では道路機能の仮復旧を目的とした鋼製の仮橋設置工事を施工していた。仮橋の配置計画および施工状況を図7、写真22に示す。

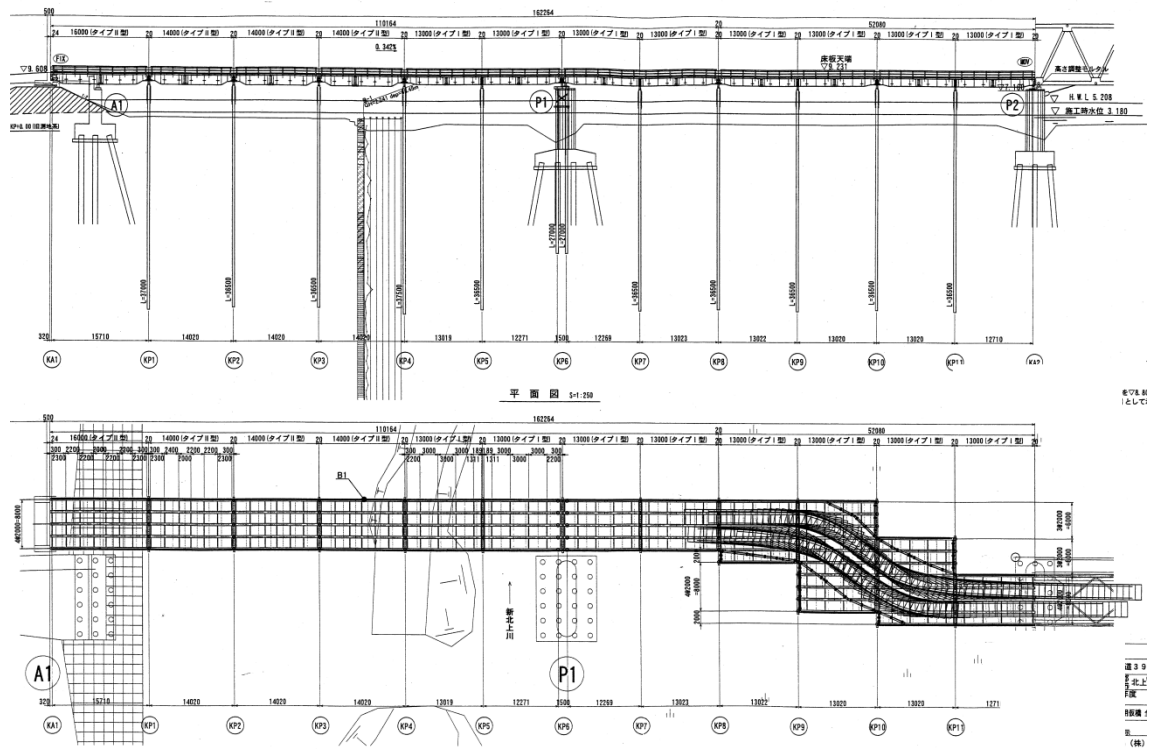


図7 仮橋配置計画図



写真22 仮橋施工状況

5-4 折立橋（南三陸町）

折立橋は、国道398号に架かる南三陸町南部の橋梁であり、2径間の橋桁全てが津波により流失したが、既に鋼製の仮橋が施工済みであり通行可能であった。



図8 折立橋 位置図



写真23 橋桁流失後の状況と仮橋

折立橋の橋台部では、線支承の破損、落橋防止ケーブルの破断に加え、橋台側に定着された伸縮装置アンカー部の浮きあがり確認された。支承の損傷では、ボルトが破断しているケースがある一方で、変形しながらも破断には至っていないケースもあった。



写真24 線支承の破損状況



橋台側の伸縮装置において、ホールインアンカー下端からコンクリートごと伸縮装置が浮きあがっている状況確認された。これは、津波による大きな上揚力により、弱点部であったホールインアンカー下端で破損したものと考えられる。



写真25 伸縮装置アンカー下端からの浮きあがり

5-5 横津橋（南三陸町）

横津橋は、前述の折立橋よりやや北方に位置する国道398号に架かる南三陸町南部の橋梁である。2径間の橋桁全てが津波により流失したが、既に鋼製の仮橋が施工済みであり通行可能であった。



図9 横津橋 位置図



写真26 橋桁流失状況

横津橋は、折立橋と同様に鋼製の仮橋による迂回道路が完成しており、通行可能な状況であった。また、橋台・橋脚と桁の変位を制限するために支承部に設置されたアンカーバーの変形あとが確認された。



写真27 アンカーバーの変形あと



写真28 鋼製仮橋設置状況

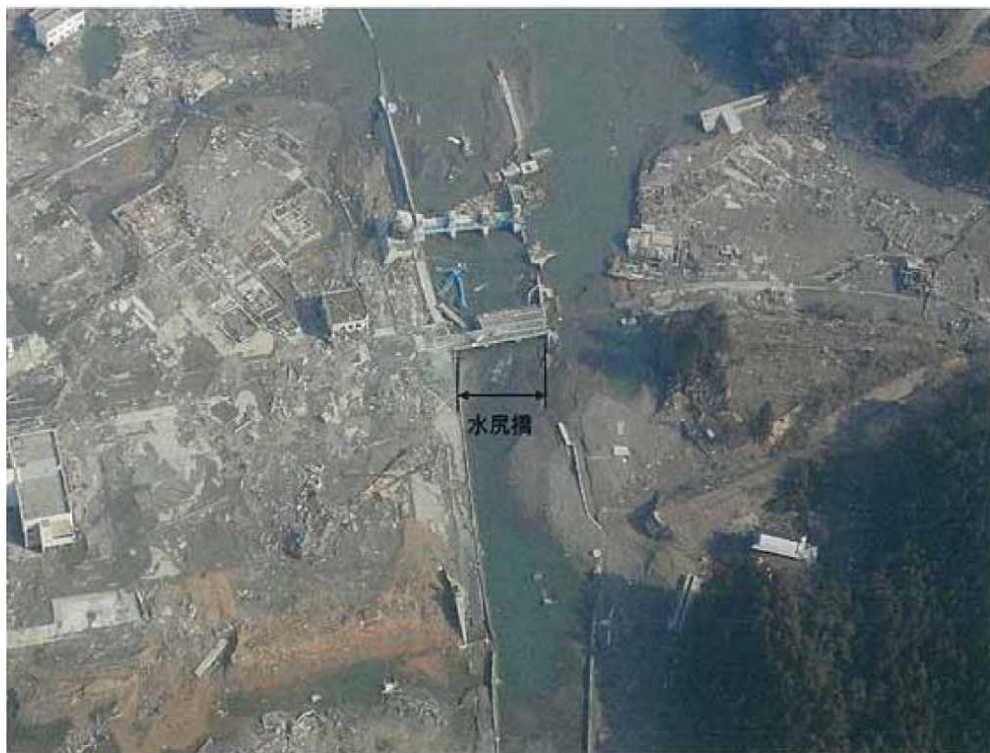
5-6 水尻橋（南三陸町）

水尻橋は、国道45号に架かる南三陸町中心部付近の橋梁であり、橋桁の一部が津波により流失した。
既に鋼製の仮橋が施工済みであり通行可能であった。

また、近隣に架かる津波の影響を受けたと思われる八幡川に架かる橋梁2橋は、流失を免れていた。



図10 水尻橋位置図



※ 東北地方太平洋沖地震における道路関係施設の被災状況、
東北地方整備局 道路部、H23.3.24 より引用

写真29 水尻橋流失状況

水尻橋は、鋼単純鈑桁が上下線別に3連で計6連となっており、このうちの1連だけが流失していた。
また、片側の背面土工部も完全に流失しており、パラペットも流失したとみられる状況であったが、付近が水没しており、橋台部の損傷状況の詳細やその原因は不明である。



写真30 橋桁流失箇所の状況



写真31 背面土工部の流失状況

また、支承部の損傷状況から、流失した橋桁には大きな上揚力が作用したものと考えられる。



写真32 支承損傷状況

なお、本橋も鋼製の仮橋による仮復旧が施工済みであった。



写真33 仮橋設置状況

また、水尻橋の近隣における津波を受けた橋梁2橋が流失を免れていた。



写真34 流失を免れた橋梁

一方、周辺では地盤沈下の影響で、海水が滞水している状況がみられた。



写真35 周辺の滞水状況

5-7 歌津大橋（南三陸町）

歌津大橋は、国道45号の南三陸町北部に架かる橋梁であり、橋長303.6mのうち半分強の162mが津波により流失した。



図11 歌津大橋 位置図

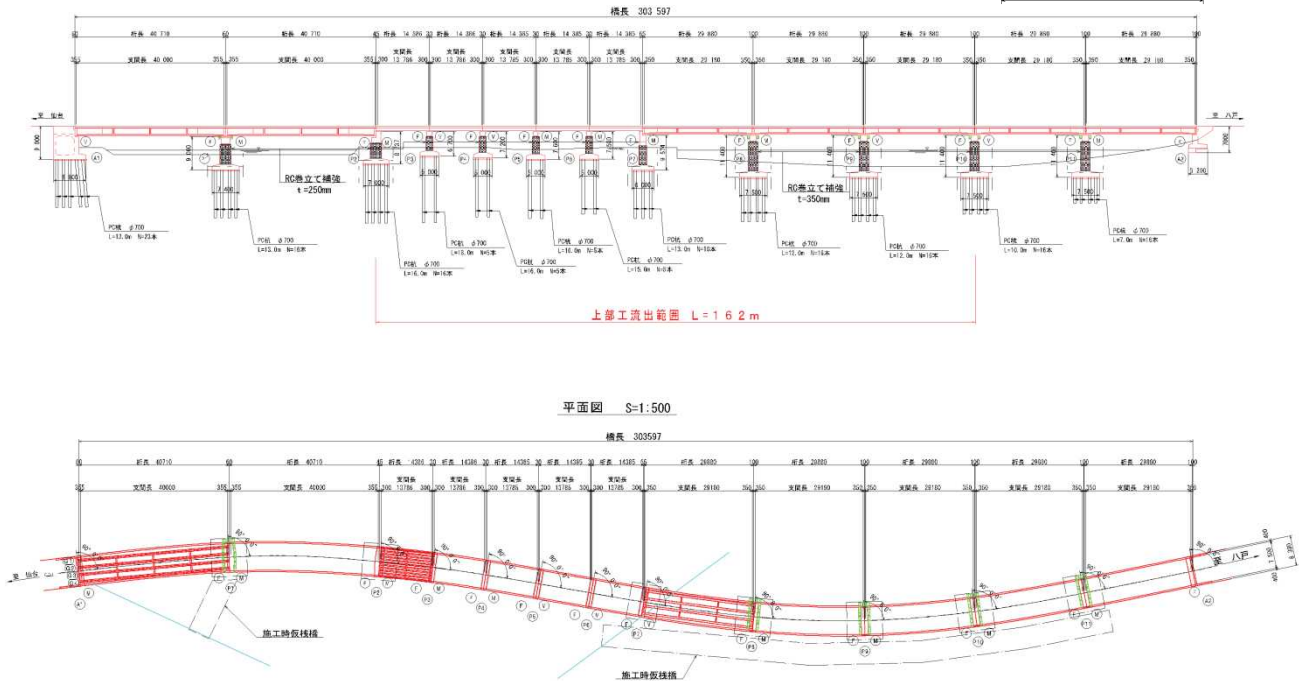
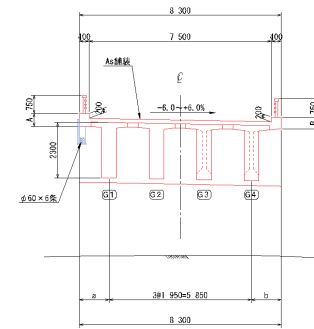


※ 東北地方太平洋沖地震における道路関係施設の被災状況，
東北地方整備局 道路部，H23.3.24 より引用

写真36 歌津大橋流失状況

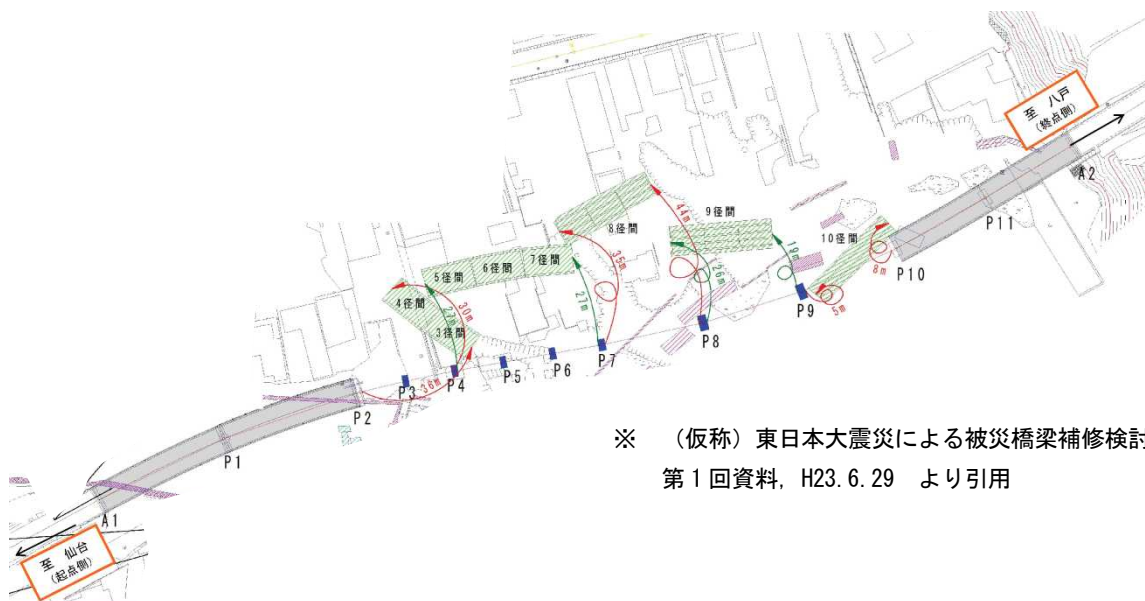
歌津大橋の橋梁形式は単純 PC ポステン T 桁：7 連，単純 PC プレテン T 桁：5 連であり，すべて単純桁である．歌津大橋の一般図を図 1 2 に示す．このうち，津波により流失したのは P2 ～P10 の桁であった．

津波の水位としては，橋面より約 9 m の高さまで達したと推定されている．



※ （仮称）東日本大震災による被災橋梁補修検討会
第 1 回資料，H23. 6. 29 より引用

図 1 2 歌津大橋一般図



※ （仮称）東日本大震災による被災橋梁補修検討会
第 1 回資料，H23. 6. 29 より引用

図 1 3 落橋状況平面図

現地では落橋した桁の撤去解体作業が進んでいたが、まだ手つかずの桁もあった。調査時点での現地の状況を写真37に示す。



写真37 歌津大橋流失状況

落橋した橋桁の支承部を観察すると、橋軸方向および橋軸直角方向の落橋防止を目的として設置されたとされる鋼製の突起が、破損・流失せずにほぼそのままの状態が残っていた。したがって、落橋の際には津波により大きな浮力が発生し、橋桁が浮き上がるような状態になったものと推察される。



写真38 落橋防止突起の存置状況



写真39 支承部・伸縮装置の状況

橋桁の流失を免れた A1～P2 間では、津波により桁がやや傾斜し、橋脚梁部の付け根が大きく損傷し、一部の鉄筋が破断していた。



写真 4 0 橋脚の損傷状況

また、歌津大橋の近隣では、流失をまぬかれた橋梁、および鋼製照明柱の損傷も確認されたため、状況を示す。



写真 4 1 照明柱の損傷と流失を免れた橋梁

5-8 二十一浜橋（気仙沼市）

二十一浜橋は、国道45号の気仙沼市南部に架かる橋梁であり、側道橋と背面盛土が津波により流失した。



図14 二十一浜橋 位置図



※ 東北地方太平洋沖地震における道路関係施設の被災状況，
東北地方整備局 道路部，H23.3.24 より引用

写真41 二十一浜橋被災状況

二十一浜橋では、国道本線橋の流失は免れたが、併設されていた側道橋2橋のうち1橋が津波により流失し、さらに土砂流失に伴い橋台基礎の鋼管杭が露出して傾斜している状況が確認された。傾斜していた鋼管杭は、1本杭であった。

また、前後の土工が広範囲で流失したため、鋼製の仮橋により仮復旧を行っていた。



写真4 1 流失した側道橋の橋台鋼管杭露出状況



写真4 2 流失を免れた側道橋



写真4 3 土砂流失部の仮橋設置状況

5-9 小泉大橋・JR 津谷川橋りょう（気仙沼市）

小泉大橋は、国道45号の南三陸町北部に架かる橋梁であり、橋長182.1mの上部工全てに加え、橋脚1基（P3橋脚）が津波により流失した。



図15 小泉大橋・津谷川橋りょう 位置図



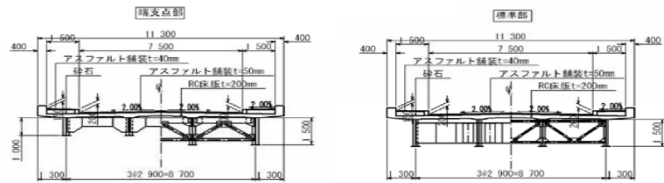
※ 東北地方太平洋沖地震における道路関係施設の被災状況、
東北地方整備局 道路部、H23.3.24 より引用

写真44 小泉大橋流失状況

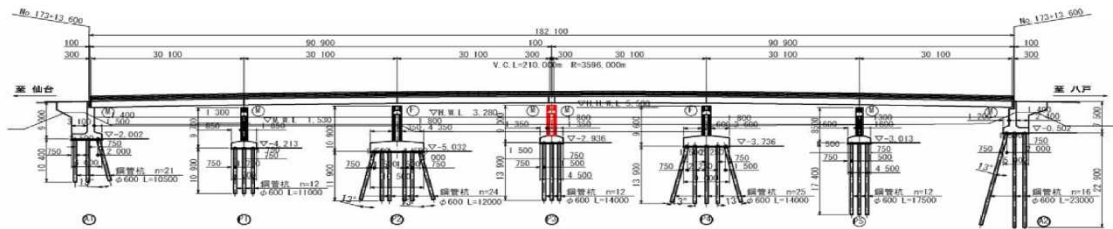
小泉大橋は、鋼3径間連続非合成鈹桁×2連で構成され、橋脚の耐震補強および橋台部にダンパーが設置されていた。

津波は橋面から6mの高さまで達したことが確認されている。

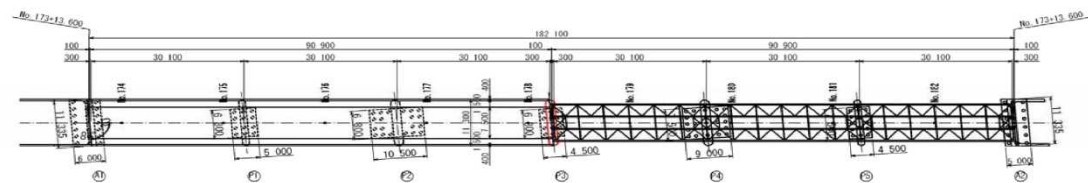
上部工断面図



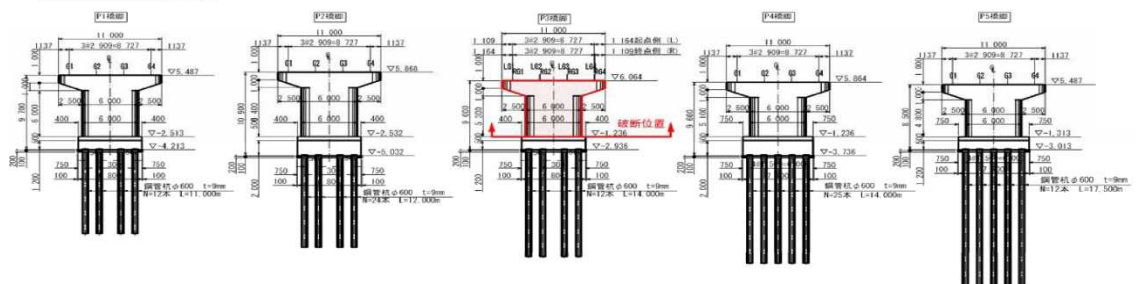
側面図



平面図



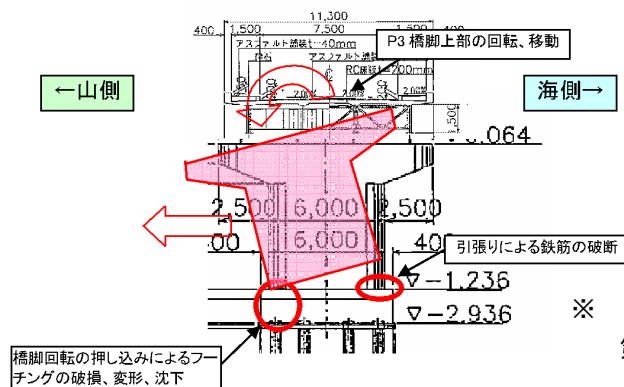
下部工正面図 S=1:200



※ (仮称) 東日本大震災による被災橋梁補修検討会
第1回資料, H23.6.29 より引用

図16 小泉大橋一般図

P3橋脚は、既往の調査結果により、橋脚基部にて曲げ破壊を起こしたものと分析されており、上部構造とほぼ同時に流失したものと推察されている。



※ (仮称) 東日本大震災による被災橋梁補修検討会
第1回資料, H23.6.29 より引用

図17 P3橋脚流失時の想定図

橋台部の損傷状況をみると、ダンパーは取付ボルトの部分から破損している状況であり、橋台部に存置されている箇所と、上部構造とともに流失したものがあつた。支承の損傷形態としては、サイドブロックが破損しているものと、破損せずに残っているものとがあつた。さらに、支承間に変位制限のためのコンクリートブロックのようなものが破損している形跡があつた。



写真45 小泉大橋 橋台部の損傷状況

また、本橋においても鋼製の仮橋により仮復旧が完了しており、交通開放されていた。



写真46 小泉大橋 仮橋設置状況

小泉大橋に近接するＪＲ気仙沼線の小泉橋りょうでは、１径間分の橋桁が流失していた。また、国道４５号で小泉大橋の近傍に架かる外尾川橋では、側道が流失したものの、本線部分は流失を免れていた。流失を免れた外尾川橋の本線橋は連続ラーメン形式となっている。



写真４７ 流失したＪＲ気仙沼線 小泉橋りょうと外尾川橋

小泉大橋からさらに上流側に、印象的な損傷形態を示す橋梁があった。ＪＲ気仙沼線の津谷川橋りょうである。本橋は橋脚が３基斜めに傾斜した状態で流失を免れており、津波外力がどの程度であったかを試算するための対象橋梁として、分析が進められているとのことである。

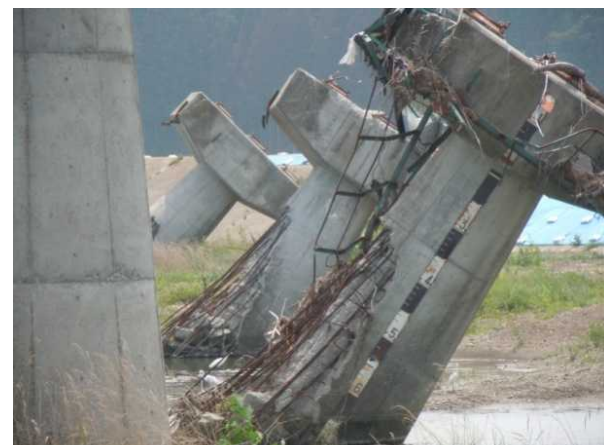


写真４８ ＪＲ気仙沼線 津谷川橋りょうの損傷状況

5-10 気仙大橋・姉齒橋（陸前高田市）

気仙大橋は、国道45号の陸前高田市中心部に架かる橋梁であり、橋長181.5mの橋桁全てが津波により流失した。また、やや上流に架かる姉齒橋でも、同様に橋桁全てが流失した。



図18 気仙大橋・姉齒橋 位置図



※ 東北地方太平洋沖地震における道路関係施設の被災状況、
東北地方整備局 道路部、H23.3.24 より引用

写真49 気仙大橋流失状況

気仙大橋は、鋼3径間連続非合成鈹桁+鋼2径間連続非合成鈹桁の2連で構成され、橋脚の耐震補強および橋台部にダンパーが設置されていた。

津波は橋面から4.5mの高さまで達したことが確認されている。

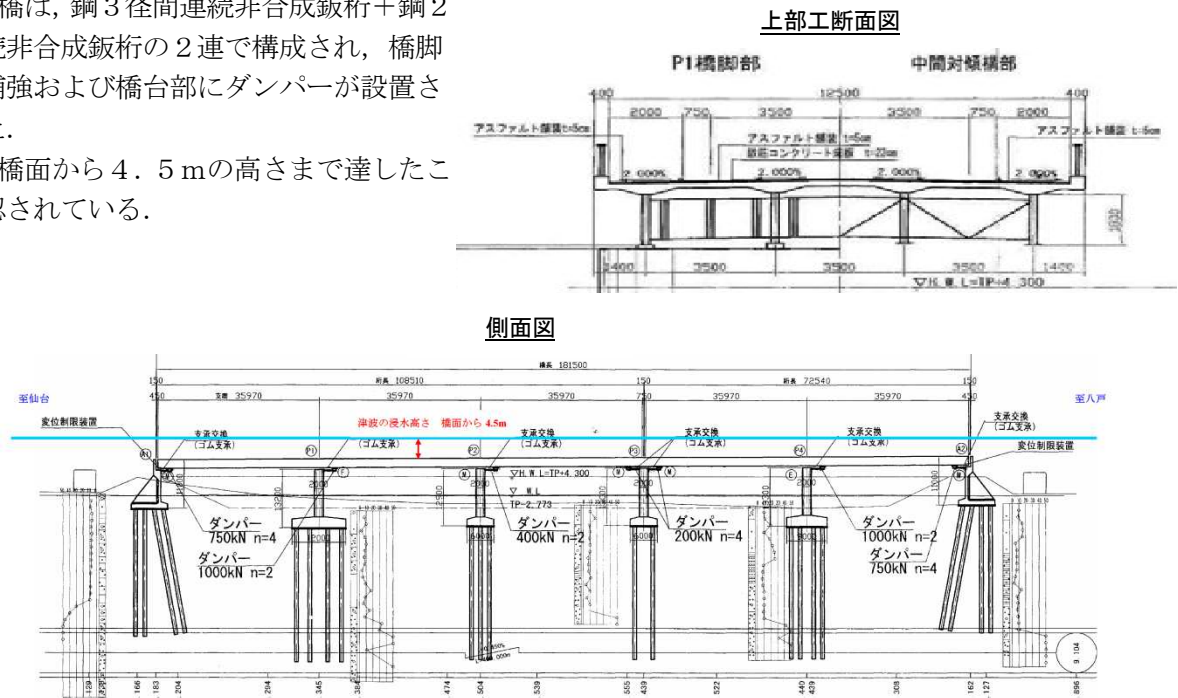


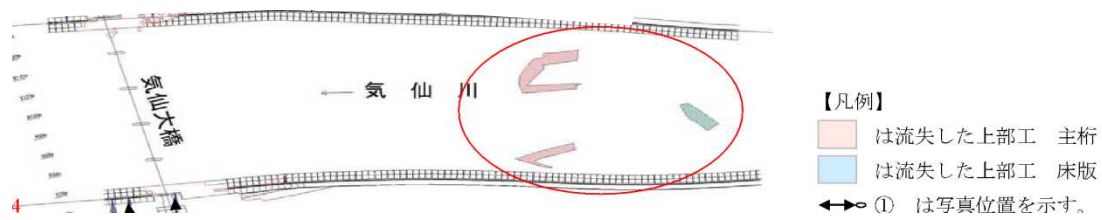
図19 気仙大橋一般図

また、本橋も鋼製の仮橋により交通開放していた。



写真50 気仙大橋の仮橋設置状況

流失した桁は下图のように折れ曲がったような形態で、300m程度上流側で確認された。



※ (仮称) 東日本大震災による被災橋梁補修検討会
第1回資料, H23. 6. 29 より引用

図20 桁流失状況平面図



写真51 流失した桁の現況

本橋はゴム支承に交換されていたが全て破損しており、後から設置されたダンパーも取付部で破損している状況が確認された。



写真52 支承部の破損状況

気仙大橋の上流に架かる県道の姉齒橋も津波により流失していた。本橋は、昭和35年のチリ地震（マグニチュード 9.5）の際にも津波により流失したとのことで、その後に架け替えがなされていたが、今回の津波でも残念ながら流失した。



写真53 姉齒橋 流失状況

5-1-1 沼田跨線橋（陸前高田市）

沼田跨線橋は、国道45号の陸前高田市街地東部に架かる橋梁であり、橋長65.2mの橋桁全てが津波により流失した。



図2-1 沼田跨線橋 位置図

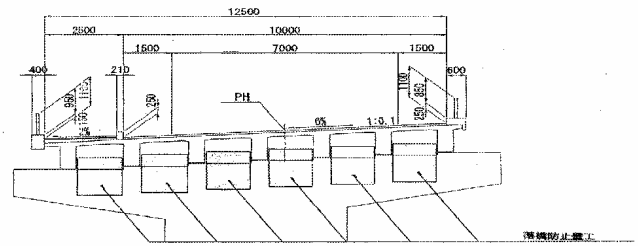


※ 東北地方太平洋沖地震における道路関係施設の被災状況、
東北地方整備局 道路部、H23.3.24 より引用

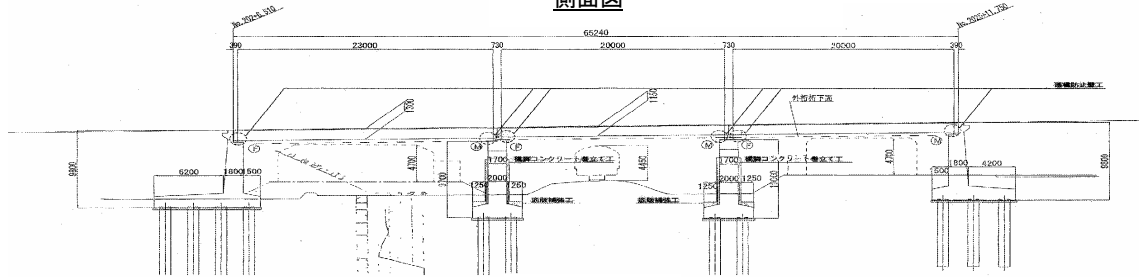
写真5-4 沼田跨線橋流失状況

沼田跨線橋は、単純PCポステンT桁×3連で構成され、橋脚にはコンクリートブロックによる落橋防止構造が設置されていた。

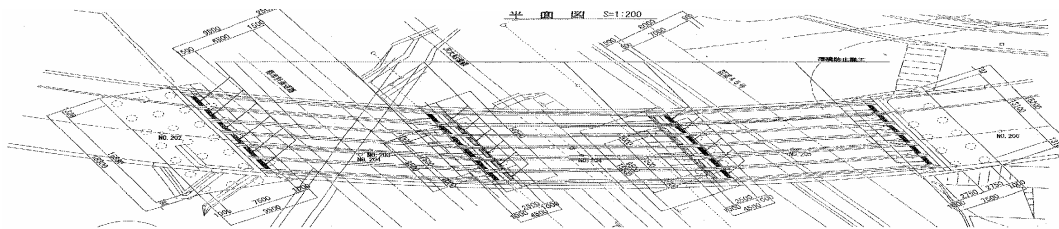
標準横断面図



側面図



平面図



※ (仮称) 東日本大震災による被災橋梁補修検討会
第1回資料, H23. 6. 29 より引用

図22 沼田跨線橋 一般図



写真55 沼田跨線橋の現況

桁は付近に落下している状態が確認されたが、橋脚に設置された落橋防止構造は存置していた。したがって、本橋においても大きな浮力が発生して橋桁が流されて落下したものと推察される。

また、付近の鋼桁が流失している状況も確認されたが、一部は流出を免れていた。(写真57)



写真56 沼田跨線橋 流失桁の状況



写真57 流出を免れた鋼桁

5-12 JR気仙川橋りょう（陸前高田市）

気仙川橋りょうは、JR 大船渡線の気仙大橋や姉齒橋のさらに上流部に架かる橋梁であり、河川流水部の大部分が津波により流失した。

本橋は海岸から4 km 程度内陸側にあり、今回の津波の影響範囲がいかに広大であったかがよくわかる。



図23 JR大船渡線気仙川橋りょう 位置図

本橋の橋脚は無筋コンクリートであり、橋脚天端も流失している状況が確認された。



写真58 気仙川橋りょうの現況

5-13 川口橋（大船渡市）

ここまでは、津波により流失した橋梁の状況を確認してきたが、大船渡市内では大きな津波を受けた形跡があるにもかかわらず、流失を免れ交通機能を確保している橋梁が存在していた。特に印象的であった、大船渡市中心部を流れる盛川を跨ぐ川口橋の状況を以下に示す。



図24 川口橋位置図



写真59 川口橋の交通運用現況

本橋はH8道示で設計された比較的新しい橋梁であり、鋼連続2主鈑桁で鋼コンクリート合成床版が採用されている。

本橋では大きな津波に加え、火災による被災を受けた形跡が認められたが、それでもなお仮設のガードレールが設置された状態で、問題なく交通運用されていた。また、被災調査の目的かどうかは不明であるが、全面的に吊り足場が設置されていた。

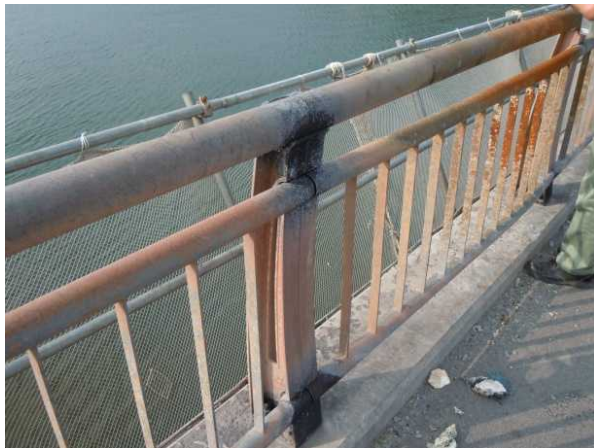


写真60 川口橋の現況

6. まとめ

今回の現地調査は、主として津波被害を受けた橋梁の状況調査であった。以下に、津波被害を受けた橋梁について、現地調査で確認された点をまとめる。

- ・津波を受けた橋梁では、鋼橋・コンクリート橋に拘わらず、落橋・流失していたが、中には同程度の津波を受けたにも拘わらず流失を免れた橋梁も存在していた。
- ・流失した桁を観察したところ、橋軸方向や橋軸直角方向の落橋防止を目的としたストッパーが存置されている橋梁がいくつか確認された。これは、津波来襲時に浮力による大きな上揚力が作用したものと想定される。
- ・津波により流失した橋梁は、古くに建設されたものでも耐震補強により落橋防止システムが施工されていた橋梁が多かったが、これらはほぼ破断・破損しており、地震で想定した慣性力をはるかに上回る力を津波により受けたことが分かる。
- ・耐津波性に優れる橋梁形式がどのようなものであるかは難しい課題であるが、今回の調査では、ラーメン形式や多径間連続形式の橋梁が、比較的流失を免れていたようにみられた。
- ・海岸線沿いを走る国道が軒並み津波により被災を受けていたが、既にその大部分は仮橋による道路機能の仮復旧がなされていた。仮橋は全て鋼製であり、迅速施工を目的とした場合の鋼構造物の優位性が確認された。