

東北地方太平洋沖地震による橋梁被害の調査

An investigation of bridge damages in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

北海道大学大学院工学研究院 ○正会員 松本高志 (Takashi Matsumoto)
 北海道大学大学院工学研究院 F会員 林川俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
 北海道大学大学院工学研究院 正会員 何 興文 (Xingwen He)

1. はじめに

2011年3月11日(金)に発生した東北地方太平洋沖地震による道路橋の津波被害状況を主に把握することを目的として調査を行った。

東北地方太平洋沖地震は太平洋三陸沖を震源として発生し、国内観測史上最大のマグニチュード9.0を観測した。震源域は東北地方から関東地方にかけての太平洋沖の幅約200km、長さ500kmの広範囲にわたったため、広範囲で震度6弱以上の強い揺れを観測した。地震波の特徴として、周期0.1-1秒の範囲で最も大きな揺れが見られ、より長い周期では相対的に小さかった。道路橋では落橋や倒壊などの被害はなかったものの、部材の損傷は多く見られている。

また、地震によって大規模な津波が発生した。津波高(海上での津波の高さ)が約8-9mあったと推定されており、陸上での浸水高は痕跡より三陸海岸で10-15m前後、仙台湾岸で8-9m前後とされている¹⁾。これにより数kmにわたる広範囲が水没し、多くの道路構造物が破壊され押し流された。

2011年12月12日現在、死者は15,841人、行方不明者は3490人とされており、被害額は政府試算で16-25兆円である。

本地震による橋梁の被害調査は多くの研究者らによりなされており、土木学会地震工学委員会においては、土木学会東日本大震災被害調査団が組織され、4月11日に緊急地震被害調査報告会が開かれ、報告書が5月9日付で作成されている²⁾。

本報は、北海道大学構造デザイン工学研究室のメンバーによる限定された調査ではあるが、橋梁の被害について

一つの報告として示すものである。

2. 調査内容

調査日程は、地震発生より約3か月後の6月13日(月)より17日(金)の5日間である。宮城県仙台市を宿泊地として、仙台より陸前高田の間の主に国道45号線を対象

表-1 調査橋梁名と確認した被害

6月14日(火)	
陸前高田地区	
気仙大橋	桁・背面土・盛土流失、護岸損傷
奈々切跨線橋	高欄損傷、背面土沈下、盛土一部流失
沼田跨線橋	桁・背面土・盛土流失
沼田避溢橋梁*	桁間ずれ
川原川橋	高欄損傷、背面土流失
古川橋	高欄一部損傷、背面土流失
松原大橋	高欄一部損傷、背面土一部流失
姉齒橋	桁流失
気仙沼地区	
小泉大橋	桁・橋脚・背面土流失、護岸損傷
外尾川橋	盛土流失
二十一浜橋	高欄流失、盛土流失
南三陸地区	
歌津大橋	桁流失
6月15日(水)	
石巻地区	
新北上大橋	桁流失、背面土沈下、護岸損傷
天王橋	上横構座屈・破断、橋門構座屈
新天王橋	ゴム支承残留変形、変位制限装置脱落
日和大橋	橋脚洗掘
定川大橋	桁落下、桁・橋台衝突痕、背面土・盛土流失
鳴瀬奥松島大橋	
東松島大橋	ゴム支承残留変形
6月16日(木)	
七ヶ浜地区	
葦森橋	背面土流失
橋本橋	背面土流失
東松島地区	
新不動橋	高欄・護岸一部損傷、背面土一部流失
不動橋	高欄一部損傷
松が島橋	桁間ずれ、背面土・盛土流失

*鉄道橋



図-1 調査経路

として調査した。調査地区と調査日は以下の通りである（図-1 参照）。

14日（火）陸前高田地区、気仙沼地区、南三陸地区

15日（水）石巻地区

16日（木）七ヶ浜地区、東松島地区

また、各地区で調査した橋梁名を表-1に示す。

調査項目は、上部構造、支承、下部構造、落橋防止システム、付属物、橋梁前後の盛土、橋台背面土、などである。調査は徒歩による近接目視であり、徒歩による接近困難な箇所は観察していない。

また、地震発生より約3か月を経ていることもあり、現場状況は変化しており、復旧が進んでいることに注意が必要である。例えば、桁は移動、解体、撤去されている場合もあり、アプローチ部の盛土などは仮復旧が済んでいる現場もあった。

今回の地震では、地震動による被害に加えて、津波による被害が見られた。上記のような限定された調査条件ではあるが、確認された被害を表-1にまとめる。以下では、特徴的な橋梁被害について述べる。

3. 地震動による橋梁被害

今回の調査は、国道45号線に沿った沿岸部の橋梁を主な対象としたため、地震動によって被害を受けた橋梁の調査数は多くない。

天王橋（図-2）は、ランガー橋の上横構が座屈しており、幾つかは破断・落下している。上横構の座屈は橋門構側で見られ、クラウン部では見られなかった。また、橋門構にも座屈が生じていた。

新天王橋と東松島大橋では、ゴム支承の残留変形が観察された。新天王橋では変位制限装置の脱落があった。

4. 津波による橋梁被害

橋梁とその周辺における大規模な損傷としては、桁の流失、橋脚の流失、橋台背面土の流失、アプローチの盛土流失、護岸の損傷が見られた。

桁が流失した橋としては、鋼鈹桁の気仙大橋、小泉大橋、鋼トラス桁の姉歯橋、新北上大橋、PC桁の沼田跨線橋、歌津大橋、定川大橋がある。

桁の流失については、橋脚に残された損傷から以下のように流失状況が推定される。

まず、沼田跨線橋（図-3）は、3径間のPC単純桁が全て流失しているが、サイドブロックには損傷が見られない。これは大きな上揚力が作用することにより、サイドブロックを損傷することなく、桁が浮き上がり水平に移動したものと考えられる。

次に、小泉大橋（図-4）においては、3径間連続鋼鈹桁2連が流失し、橋脚も1本流されている。橋脚に残された支承の損傷状況とコンクリートの擦過痕から、上揚力と水平力により支承が破断し、桁は斜めになって（津波に対して下面を見せる形）になって落橋したものと想像される。

新北上大橋（図-5）においては単純ワーレントラス桁の2径間が流された。落橋防止ケーブルの破断もしくは定着部の脱落が見られ、支承の破壊とサイドブロック



図-2 天王橋



図-3 沼田跨線橋



図-4 小泉大橋

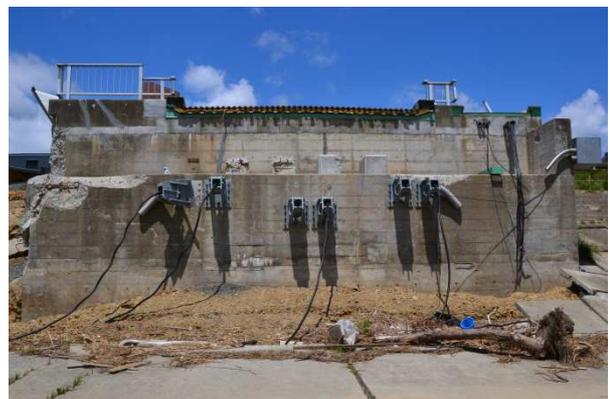


図-5 新北上大橋



図-6 歌津大橋



図-7 定川大橋



図-8 沼田避溢橋梁



図-9 川原川橋

の損傷からも、斜めに浮き上がって転倒落下したと考えられる。

歌津大橋(図-6)ではPC桁12径間の内の中央8径間が落橋した。同様に上揚力が作用して斜めになった桁が、サイドブロックを壊しながら転倒落下したものと考えられる。

定川大橋(図-7)においては、船舶衝突によって落橋した。近くの港から漂流してきた大型船の衝突により中央径間が流失し、アプローチには別の船の衝突による衝突痕が残っている。

一方で、桁が流失しなかった橋も見られた。陸前高田地区では、沼田避溢橋梁(図-8、鉄道橋、鋼板桁)、川原川橋(図-9、PC桁)、古川橋(図-10、PC桁)、松原大橋(図-11、PC桁)が含まれる。これらの橋は海岸線に近く、同地区の気仙大橋、姉齒橋、沼田跨線橋と同程度の浸水高であったのに、桁の流失を免れている(図-12)。このうち松原大橋は橋軸が津波進行方向と平行であったためと考えられるが、沼田避溢橋梁は桁が流失した沼田跨線橋とほぼ同位置にあり、川原川橋と古川橋は高欄が流失・損傷し橋台背面土がほぼ全て流失したにもかかわらず、桁は残存している。

気仙沼地区の二十一浜橋(PC)においても、アプローチの盛土がほぼ流失しているが、桁は流失していない。東松島地区の松ヶ島橋(PC)も桁の流失は免れている。斜橋であるため津波により桁が回転したが、サイドブロックが抵抗した可能性がある。

桁の流失については幸左らによる研究がある³⁾。橋が有する抵抗力と津波による作用力の比により、桁流失の危険性を評価するものである。この文献では、抵抗力としては桁に対する摩擦力を考え、作用力は水平力のみで上揚力は考えていない、単純な条件下での分析方法を示している。歌津大橋、小泉大橋、気仙大橋、川原川橋、二十一浜橋、浜田川橋についての簡易分析が文献2)で行われており、桁流失の危険性についての概ねの傾向が示されている。作用力と抵抗力について、さらに詳細な把握が行われ、流失と残存が説明される分析方法の発展を期待したい。作用力である津波波力の評価については、土木学会コンクリート委員会津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会が調査研究を進めており、その成果が待たれる。

橋梁周辺についての損傷としては、橋台背面土の流失、アプローチの盛土流失、護岸の損傷がある。背面土もしくは盛土の流失が見られた橋は、気仙大橋、奈々切跨線橋(PC桁)、沼田跨線橋、川原川橋、古川橋、二十一浜橋(PC桁)、新北上大橋、定川大橋、葦森橋(ボックスカルバート)、橋本橋(ボックスカルバート)、新不動橋(PC桁)、松が島橋(PC桁)である。これらの橋の多くは橋台の背面土が大きく流失し、橋台が露わになっていた(図-13)。流失はしなくとも背面土の沈下により段差を生じている橋もあった。アプローチの盛土流失も気仙大橋、奈々切跨線橋、沼田跨線橋、外尾川橋、二十一浜橋、定川大橋、松が島橋で見られた。流失度合の異なる複数の橋を見ると、盛土の流失は、津波が越流した後の陸側法面で浸食が始まり、崩壊して流失しているようで



図-10 古川橋



図-11 松原大橋

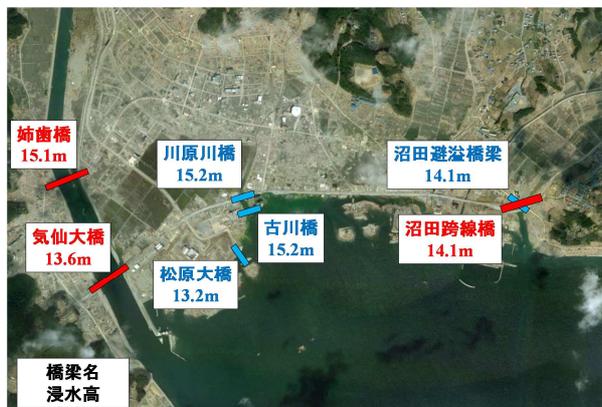


図-12 橋梁近傍の浸水高⁴⁾



図-13 沼田跨線橋

ある。また、橋台近くで流失が大きい。護岸の損傷は気仙大橋、小泉大橋、新北上大橋、新不動橋で見られた。図-4の小泉大橋では右(下流)から左(上流)へ津波が進行したが、橋台の上流側の護岸が損傷している。こうした状況は他の橋でも同様に生じている。堤防を越流した津波が再び河川に戻る際に、張工の流失と盛土の浸食を引き起こしたようである。

盛土流失についても幸左らによる研究により触れられている³⁾。台形盛土とコンクリート護岸の遠心模型に疑似津波を作用させ、盛土の法面すべりと護岸の張工流失を観察している。実験では陸側法面で流速が増大し高い掃流力が生じることが示されている。津波の流れと浸食についてさらに研究が行われ、橋台周りの挙動が説明されるようになることを期待したい。

5. さいごに

本調査の対象地域は限られており、橋梁被害の把握も詳細には至っていない。また、主に津波による橋梁被害を対象とした。2004年スマトラ島沖地震において、スマトラ島では多数の橋が流失する被害があったが、今回の東北地方太平洋沖地震においても同様の被害を調査において目の当たりにすることとなった。

津波の作用による、桁、橋脚、背面土、盛土、護岸の損傷が見られたが、こうした現象について、模型実験や数値解析などによる現象の再現と理解が望まれる。桁の流失については、桁形状、地形効果、漂流物などによる作用力への影響と、支承・落橋防止システムなどの抵抗力の評価、上揚力への抵抗の検討などが考えられる。また、橋台背面土、アプローチ盛土、護岸についても、橋周辺の津波流れを把握したうえで、適切な強化のレベルを考える必要がある。

北海道においても地震に伴う津波が想定されており、東日本大震災を踏まえた着実な対策の実施が望まれる。

謝辞

本調査においては、(独)土木研究所寒地土木研究所、大日本コンサルタント(株)、ゴム支承協会のご協力を頂いた。また、北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会より調査費用の一部助成を頂いた。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 日本気象協会：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震津波の概要(第3報)、<http://www.jwa.or.jp/>、2011。
- 2) 土木学会地震工学委員会：東日本大震災被害調査団緊急被害調査報告書、土木学会、2011。
- 3) 幸左賢二他：津波による道路構造物の被害予測とその軽減策に関する研究、道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート、新道路技術会議、No. 19-2、2010。
- 4) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ：東北地方太平洋沖地震津波情報、<http://www.coastal.jp/ttjt/>、2011。