

東日本大震災で損傷を受けた鋼橋について

～鋼橋の調査報告と協会の取組み～

亀山 誠司¹

¹ (社) 日本橋梁建設協会 保全技術小委員会 保全第2部会 委員
(所属会社：瀧上工業株式会社 企画管理室 技術開発グループ)

E-mail:kameyama@takigami-grp.jp



(社) 日本橋梁建設協会の取組みとして東日本大震災における災害調査を行った結果より、地震および津波の被害状況を報告する。フェーズ I 地震を受けた、岩手、宮城方面は、最大震度 7 を観測した地震にもかかわらず、支承、変位制限装置が機能を果たしていた。この要因は、この地域の地表加速度及び、速度応答スペクトルが 0.3sec～0.5sec で大きな値を示す特性であり、中小鋼橋梁、橋脚で比較的固有とされる、0.5sec～1.5sec の振動数領域と若干ずれていたことが挙げられる。さらに、この振動数領域すら地表加速度は 1000gal 超えとレベル 2 クラスであったことを考慮すれば、耐震補強工事が有効であり、今後も継続すべきである。なお、想定されていない津波荷重をどう設計に取り入れていくかが今後の課題であろう。

テーマ：東日本大震災、調査報告、津波による被害、鋼橋の損傷

1. まえがき

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃に、三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の巨大地震（東北太平洋沖地震）が発生した。地震発生直後に（社）日本橋梁建設協会〔会員数 38 社〕では『H23 年東北地方太平洋沖地震対策本部』を設置し、災害を受けた地方自治体の緊急橋梁復旧や、協会内で定めた『災害時支援体制ガイドライン』に基づいた調査活動を行った。

会員各社から、のべ 940 パーティー（約 2,300 名）が緊急出動し、約 3,300 橋の被災調査を行ったので、鋼橋の被害を中心とした道路橋の被災状況について報告する。

2. 道路橋の流出・落橋の被害

道路橋の流出・落橋の被害は、約 20 橋以上に及んだ。協会で調査し判明した被害橋梁を表-1 に示す。流出と落橋の区分について、流出は津波により側圧で流された橋梁、落橋は桁が橋台から落ちた橋梁と定義している。これらの多くが宮城県内で津波の被害のあった箇所であり、津波以外の被害と思われる橋は茨城県の鹿行大橋のみであった。表-1 の写真欄に示す落橋した 4 橋の写真は次項の写真-1～4 に示す。巨大津波による水圧で流された橋や、津波で背面盛土が掘削された橋梁が多かった。

表-1 流出・落橋状況のまとめ(PC 橋を含む)

国交省直轄管理道路

地域	路線名	橋名	被災状況	橋長(被災長)	備考	写真
宮城県 南三陸町	国道45号	歌津大橋	上部工流出	304	迂回路有り	
宮城県 気仙沼町	国道45号	小泉大橋	上部工流出			写真-7
宮城県 陸前高田市	国道45号	気仙沼大橋	上部工流出	182		
宮城県 志津川町	国道45号	水尻橋	一部落橋	33.78	拡幅橋	

都道府県管理道路

地域	路線名	橋名	被災状況	橋長(被災長)	備考	写真
宮城県 石巻市	国道398号	新北上大橋	上部工流出	566(160)		写真-6
宮城県 南三陸町	国道398号	折立橋(PC)	落橋	35	盛土で復旧	写真-1
宮城県 南三陸町	国道398号	横津橋	落橋	33	盛土で復旧	
宮城県 石巻市	国道398号	新相川橋	落橋	67.5		
	国道398号	女川橋	落橋	14	盛土で復旧	写真-4
茨城県 銚田市	国道354号	鹿行大橋	落橋	(37)		写真-14

都道府県等

地域	路線名	橋名	被災状況	橋長(被災長)	備考	写真
岩手県 宮古市	重茂半島線	向渡橋	落橋			
岩手県 野田村	野田長内線	中沢橋	落橋			
宮城県 石巻市	石巻工業港矢本線	定川大橋(PC)	上部工流出	126(42)		
宮城県 東松島	奥松島松島公園線	松ヶ島橋(PC)	落橋	45.5	盛土で復旧	写真-2
宮城県 名取市	閑上港線	宮下橋(PC)	落橋	26		
宮城県 女川町	女川牡鹿線	野々浜橋	落橋			
宮城県 七ヶ浜町	塩釜七ヶ浜多賀城線	橋本橋(PC)	落橋	16.1		写真-3
宮城県 七ヶ浜町	塩釜七ヶ浜多賀城線	葦森橋(PC)	落橋			
福島県	広野小高線	北釜橋	落橋			



写真一 落橋したPC橋(折立橋)



写真二 落橋したPC橋(松ヶ島橋)



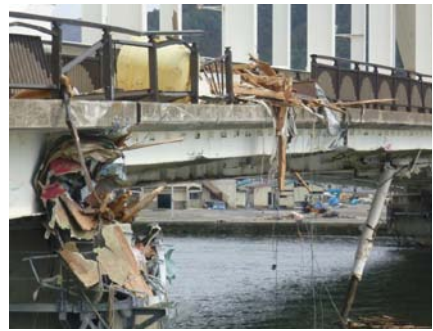
写真三 落橋したPC橋(橋本橋)



写真四 流出した鋼橋(女川橋)

3. 津波による鋼橋の被害状況

今回の地震による津波の高さは、相馬で9.3m、宮古で8.5m、大船渡で8.0m、石巻市鮎川で7.6mを観測（気象庁発表資料）し、近年にはない巨大津波の被害を受けた。津波による橋梁の流出、桁部材、高欄、添架物などの損傷の被害が多く見られた。主要地方道石巻鮎川線の高欄の損傷を写真-5に示す。写真-6に石巻市の国道398号



写真五 高欄の破損状況(万国橋)



写真六 トラス橋の被害(一部流出)
(新北上大橋)



写真七 気仙沼市の主要橋梁(小泉大橋)

の新北上大橋の被害状況を示す。同橋は北上川河口付近にかかる単純7連のトラス橋であり、写真から橋面まで津波が襲ったことが分かる。本橋の7連中2連が500m上流に流されたとの報告がある。津波により大きな被害を受けた気仙沼市の国道45号小泉大橋の流出状況を写真-7に示す。制震ダンパーや落橋防止装置も破壊されていた。

津波による被災状況としては、1) 上部工の流出、2) 下部工の流出、3) 橋台背面土の流出による洗掘、4) 橋脚、基礎工の洗掘などである。上部工と下部工を連結する支承の設計は、常時（温度、活荷重、死荷重等）および地震時（水平力、上陽力等）により設計するが、津波による側圧は考慮されていない。過去の洪水データを基にHWL+ α （余裕代）で計画されており、桁が水圧を受けることは考慮していない。今回の巨大地震のように、1,000年に1回の大地震といわれるような荷重を、設計に考慮するかは専門家の間でも議論が分かれる所である。

4. 仮橋設置事例の紹介

当協会内で定めた『災害時支援体制ガイドライン』では、仮設橋対策班である6社が仮橋を保有している。地震などで、施主より当協会に依頼があった場合、架橋位置、規模、地盤条件等により、仮橋の提供可能な会社を選定して早急に対応することとなっている。これらを踏まえた事例として、国道45号 二十一浜橋の仮橋の設置状況を紹介します。

3月22日（震災11日後）時点の同橋の流出の状況を写真－8示す。津波により橋梁部、橋台背面とも洗掘により流出していることが分かる。幹線道路であり、一日でも早い復興が望まれた。このため、翌日よりゴミ等片付けから始め、3月30日に仮橋脚の設置（写真－10）、3月31日に仮橋の組立（写真－11）を実施した。その後、仮橋の架設（写真－12）、覆工板、ガードレールの取付け、橋面工の施工（写真－13）を行い、着工より14日後の4月4日に仮橋が完成した。（写真－9）

国道45号は、その後も仮橋の計画が進んでいるが、代替道路として三陸沖の早期バイパスの建設も必要不可欠であると感じられた。



写真－8 国道45号 二十一浜橋の流出(3月22日)



写真－9 国道45号 二十一浜橋の仮橋完成(4月4日)



写真－10 仮橋脚設置(3月30日)



写真－11 仮橋の地組(3月31日)



写真－12 仮橋の架設(4月1日)



写真－13 橋面工の施工(4月2日)

5. 地震による鋼橋の被害状況

ここでは地震による鋼橋の被害状況について紹介する。津波による被害が甚大であったため、地震の規模の大きさに比べ、橋梁の損傷は少なかった印象がある。地震による落橋の鹿行大橋（茨城県）の航空写真を写真-14に示す。上側に見える現在架設中の新橋であり、下側の旧橋の一部が地震により湖に沈んでいることが分かる。



写真-14 地震による被害(鹿行(ろっこう)大橋)

次に宮城県大崎市に架かる単純ゲルバー鋼桁の全景及び、中間支承の損傷写真を写真-15,16に示す。

架設地点は、最大震度を記録した栗原市に近い地域であり、せん断型ピン支承のピンが破損し、上沓と下沓がずれていることが写真-16で分かる。せん断型のピン支承は、ピン部材にて一方方向の回転にのみ追従できる固定支承である。ピンはS35CNなどの構造用圧延鋼材を使用し、ピンの上下の部材には鋳鋼品を使用するのが一般的である。これにより、上沓や下沓など個々の部品の耐力はあるものの、支承の構造上、面外荷重に対しては抵抗が少なく、大きな衝撃時では損傷する可能性があるといえよう。



写真-15 単純ゲルバー鋼桁



写真-16 同上の中間支点部の沓の損傷

宮城県登米（とめ）市の8連の単純トラス橋を写真-17に示す。側道として単純箱桁形式の歩道が設置されている。写真-18の支承の損傷により、ピンローラー支承のサイドストッパーが破損しているのが分かる。段差防止の応急処理として橋台側にアスファルトを施工していた。同橋梁の変位制限ピンを写真-19に示す。ピン自体の損傷は無かったが、下部工のコンクリート部の破損が観察できる。変位制限コンクリートの破壊の照査の想定を超える荷重が作用したと考えられる。また、写真-20から、支承破損後も落橋防止装置が機能したと考えられる。



写真-17 単純トラス橋の段差補修



写真-18 同橋梁の支承の損傷状況



写真-19 同橋梁の変位制限装置の破損



写真-20 支承の破壊と落橋防止装置

福島県内の高架橋の事例を写真-21に示す。写真左が二期線でゴム支承形式の新しい橋梁であり、写真右が一期線で鋼製支承の古いタイプの橋梁である。支承タイプにより損傷状況が変わるケースを紹介する。一期線は写真-22に示すように、支承のアンカーボルト付近の下部工に鉛直方向のクラックが入っている損傷形態を呈している。

クラックが進展しないように、鉛直方向はベントで支持し、水平方向はゲビン棒で引張り、クラックの進展を防止する対策を施している（写真-23）。鋼製支承の損傷は軽微だが、エネルギーが下部工に伝わり損傷したと考えられる。

二期線のゴム支承はサイドブロックが損傷し、大きく塑性変形しているのが分かる（写真-24）。ゴム支承上面がすべりにより残留変形が生じたと推測される。

変位制限装置の橋脚上のコンクリートブロックが破損している状況を写真-25に示す。これらの損傷状況から、ゴム支承の上側は、すべりに対して照査する必要があると議論が出そうである。ゴム沓はエネルギー吸収の点で



写真-21 一期線（鋼製沓）と二期線（ゴム沓）



写真-22 一期線の下部工の損傷状況



写真-23 下部工の応急処置状況

優れるが、鋼製支承による下部工の損傷も軽微なため、損傷モードの仮定でどちらのタイプの沓を採用するのか議論の余地が残りそうである。



写真-24 二期線のゴム支承の損傷（L側）



写真-25 変位制限装置の損傷

6. あとがき

これまでの被災調査をもとに主要な被害について特徴を紹介した。今回の地震は関東地方では別の様相を見せている。少なくともレベル1以上であったこと、また、1.2sec近傍の地震周期が長く続いたことである。幸い、耐震補強工事が推進されているため、損傷が最小に食い止められた。一方で湾岸地域、埋め立て地盤で液状化現象が多々見られた。これは、地震波が地盤と共振、増幅かつ、長時間にわたって揺すられたことが原因である。

現在、日本橋梁建設協会は膨大なデータを整理中であり、今回の調査結果が巨大地震への対策の基礎資料になると思われる。また、今後、発生が予想される東南海地震への対策に役に立つものとする。ただし、津波により発生する荷重に対しての構造物の耐荷力については、検討していかなければいけない課題と考える。

今後も鋼橋の専門集団として日本橋梁建設協会は災害時支援体制ガイドラインに基づき、早期調査による補修・補強のアドバイス、仮橋等の応急復旧支援活動等社会資本整備に貢献し、一日も早い復旧・復興に向けて協力していく所存である。