

東北地方太平洋沖地震による橋梁の津波被害

竹田 周平*

Summary of the Field Survey on the damage of bridges in the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

Syuhei Takeda*

The off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0) occurred in Tohoku Province (including Tokyo Metropolitan area), Japan, at 14:46 on March 11, 2011. The number of victims and missing people was nearly 20,000. JMA seismic intensity 7 was recorded in Kurihara city. Damage of some bridges which were located on the coast were developed by great tsunami. On the Kesen Bridge which is located in Rikuzen-Takada, the superstructure washed away by tsunami. Based on the field investigation, damage of some typical bridges and their restoration (after seven months, October, 2011) are presented in this report.

Keywords: tsunami, field investigation, bridges, buildings, railway

1. はじめに

2011年3月11日14時46分に三陸沖を震源とする東北地方太平洋沖地震(M9.0)が発生した。この地震により宮城県栗原市で震度7を記録、また岩手県から福島県の沿岸では巨大津波が襲来し、またこの地域以外の北海道から千葉県沿岸でも津波による被害が発生した。地震発生以降、東日本では比較的大きな規模の余震も多く発生することに加え、福島第一原子力発電所事故による災害も含めて「東日本大震災」と呼称することになった。

著者は、地震発生直後より土木学会の公式調査団員として現地に向かい、巨大地震による震動被害や、巨大地震による津波被害の調査を実施、その後に二回の合計三回、現地調査を実施した。この調査では、津波により被災した重要社会基盤施設である橋梁や鉄道、また沿岸部の都市や集落の状況を記録した。

この論文では、これまでに調査した太平洋沿岸部に位置する代表的な橋梁を対象に、この被害状況を説明するとともに、被害メカニズムに関する考察を述べる。しかしながら、この考察において、現地調査で得られた情報や現地調査報告などの限定した情報の中で述べたものであり、今後の詳細な分析結果に基づき修正されることを申し添えておく。

* 土木環境工学科

2. 調査概要と巨大地震の概要

(1) 巨大地震の概要

平成23年3月11日午14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震は、地震の規模を示すマグニチュードが9.0と観測史上四番目と極めて巨大な規模となり、この結果東日本全体に甚大な被害をもたらした。震源位置は、北緯38度06.2分東経142度51.6分であり、震源の深さは24kmと比較的浅いものとなった。このために、東日本の沿岸には巨大津波が襲来することになった。この地震の発震機構は、西北西-東南東方向に圧力軸をもつ逆断層型である。この地震により宮城県栗原市では震度7を記録、また宮城県や福島県ではいくつもの地域で震度6強や震度6弱を記録した。

(2) 現地調査の概要

Table 1 は、震災直後から現地調査を行った日時と調査対象地（代表的なもの）を示したものである。第一回と二回では、福島第一原子力発電所の災害の関係があり調査対象から福島県および宮城県の福島側を調査対象から除外した。また地震発生約7ヶ月後の第三回調査では、福島県の宮城県境付近まで調査をした。Fig.1 に代表的な橋梁の位置を示す。図中の矢印は津波の襲来方向を概略で示したものである。図中に示す AreaI は一般的な海外形状でありリアス式のような V 型形状ではない。また AreaII は三陸の特徴でもあるリアス式海岸であり、海岸部に押し寄せた津波高が増大しやすい地形である。

Table 1 Schedules of survey

| No | Date | Site | |
|----|-----------------|------------|---|
| | | Prefecture | Typical of City |
| 1 | March 15-21 | Iwate | Rikuzentakata, Ofunato |
| | | Miyagi | Iwanuma, Ishinomaki, Kesenuma Minamisanriku, Onagawa |
| 2 | March30-April 4 | Iwate | Kamaishi, Yamada, Miyako Rikuzentakata |
| | | Miyagi | Minamisanriku, Onagawa Rikuzen-Koizumi |
| 3 | Octorber10-13 | Iwate | Kamaishi, Ryoishi, Touni Rikuzentakata |
| | | Miyagi | Iwanuma, Ishinomaki, Kesenuma Minamisanriku, Watari |
| | | Fukushima | Soma, Shinchi |

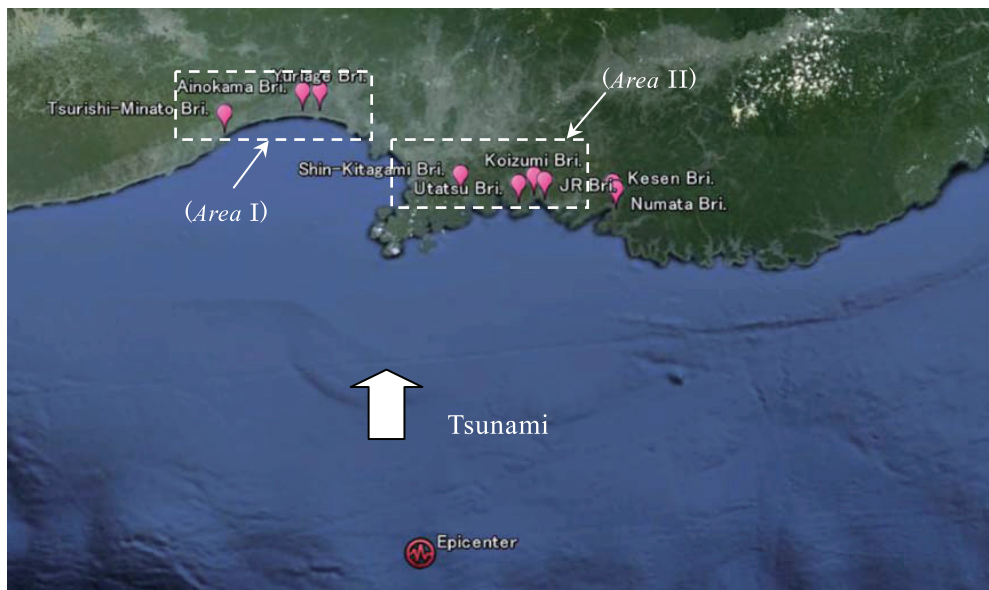


Fig. 1 Relationship between Epicenter and damage of some typical bridges



(a) Area-I (Generally coastline, Fukushima and Miyagi)



(b) Area-II (Saw-toothed coastline, Miyagi and Iwate)

Fig. 2 Map of typical bridges

Fig.2 は, Fig.1 の Area I と Area II を拡大して示したものである. この図の(a)と(b)から判るように海岸線の形状が一般的な海岸と, リアス式のような V 型地形になった二つのパターンが確認できる.

(3) 調査対象橋梁

Table2 は, 今回の震災調査で被害調査を行った橋梁のうち, 代表的な被害である 9 橋を示したもので, 橋梁名と架橋位置 (県) および海岸形状を分類して整理したものである. 表に示す 7 番の橋のみ鉄道橋であるが, そのほかの 8 橋は道路橋である. また表中に示す pc はコンクリート製の上部構造を, steel は鋼製を truss はトラス構造を示す.

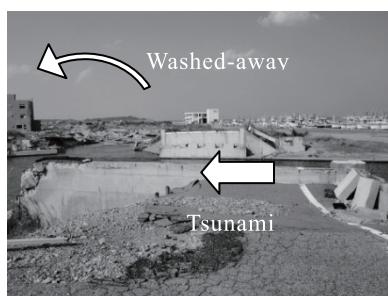
3. 代表的な橋梁の被害状況

(1) 一般的形状に位置する橋梁被害

Table2 に示す No.1~3 の橋梁の被害を述べる. Photo 1 は福島県の海岸線付近に位置する

Table 2 Typical damage of bridges

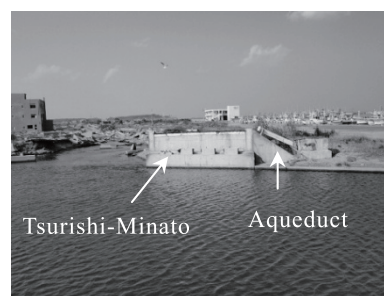
| No | Bridge | Prefecture | Type |
|----|-----------------------------------|------------|-----------------------|
| 1 | Tsurishi-minato (pc) | Fukushima | Generally coastline |
| 2 | Ainokama (steel) | Miyagi | Generally coastline |
| 3 | Yuriage (pc) | Miyagi | Generally coastline |
| 4 | Shin-kitagami (steel, truss) | Miyagi | Saw-toothed coastline |
| 5 | Utatsu (pc) | Miyagi | Saw-toothed coastline |
| 6 | Koizumi (steel) | Miyagi | Saw-toothed coastline |
| 7 | JR-line Bri. (kesennuma-line, pc) | Miyagi | Saw-toothed coastline |
| 8 | Kesen (steel) | Iwate | Saw-toothed coastline |
| 9 | Numata (pc) | Iwate | Saw-toothed coastline |



(a) The view of bridge

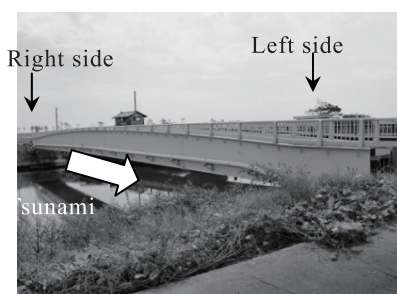


(b) Superstructure



(c) Abutment

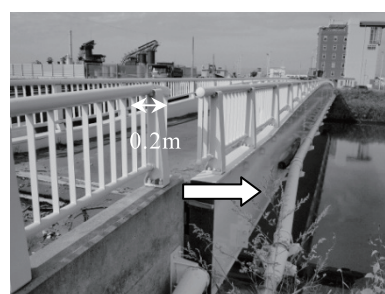
Photo 1 Tsurishi-Minato Bridge



(a) The view of bridge

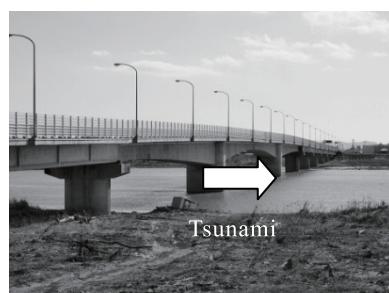


(b) Superstructure (left side)

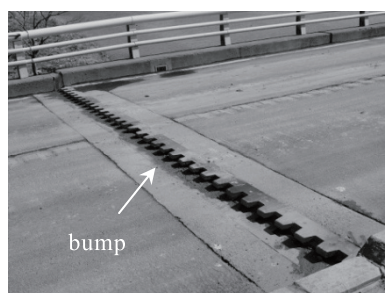


(c) Superstructure (Right side)

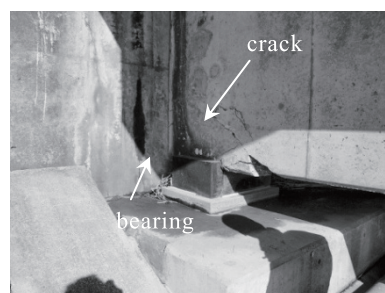
Photo 2 Ainokama Bridge



(a) The view of bridge



(b) Joint



(c) Superstructure and bearing

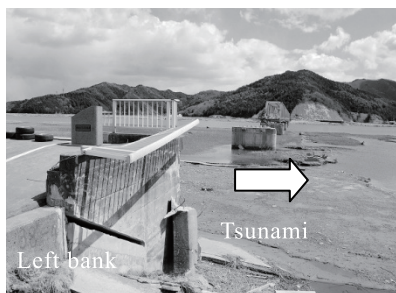
Photo 3 Yuriage Bridge

Tsurishi-minato 橋である．この橋梁は港のすぐ横に位置している単純スパンの PC 橋である．被害としては，津波力により上部構造が浮き上がりながら回転し，流出したものを推測される．また下部構造については，多少の損傷は認められるが際だって大きな損傷は確認できない．また橋梁下流側に位置していたライフライン橋（水管橋と思われる）も同様に上部構造が流出した．

Photo 2 に Ainokama 橋を，Photo 3 に Yuriage 橋を示す．これらの橋は共に海岸線に比較的近い位置に架橋された橋梁であり津波の影響を受けた．しかしながら，上部構造の流出は免れた橋梁である．特に Ainokama 橋は，上部構造が 0.2m から 1.0m 程度移動する被害を受けている．この付近の橋梁被害は，上部構造が流出するか，また流出しないかの二種類の被害形態が多いことを確認しているが，このように桁がずれた橋梁の被害は比較的少ない．すなわち特徴的な被害であることが判る．なお Yuriage 橋は規模が大きな橋梁であり，津波は橋梁上部構造を越流していない．しかしながら桁端部（C）にひび割れ被害が認められた．

(2) リアス式海岸に位置する橋梁被害

次に，Table2 に示す No.4～9 の橋梁の被害を述べる．Photo 4 は Shin-kitagami 橋，Photo 5 は Utatsu 橋，Photo 6 は Koizumi 橋の被害の様子を示す．これらの橋は Utatsu 橋のみ海岸線付近であり，Koizumi 橋は若干ではあるが少し海岸線よりも内陸部，また Shin-kitagami 橋は内陸部に位置しており，橋梁の架橋位置より海や海岸線を望むことはできない．この Shin-kitagami 橋は，



(a) The view of bridge



(b) Superstructure



(c) Pier

Photo 4 Shin-kitagami Bridge



(a) The view of bridge

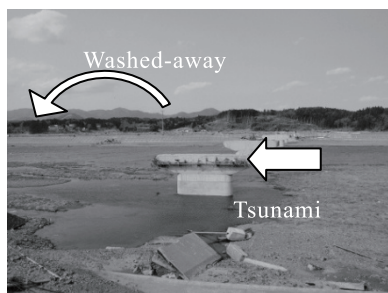


(b) Superstructure



(c) Pier

Photo 5 Utatsu Bridge



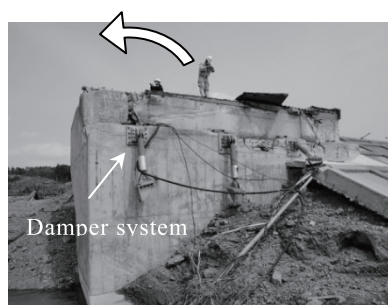
(a) The view of bridge



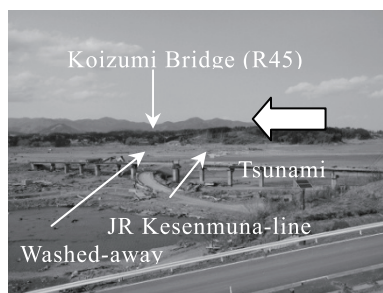
(b) Superstructure



(c) Pier



(d) Abutment



(e) The view of JR Bridge

Photo 6 Koizumi Bridge

大川小学校のすぐ横に位置している。Shin-kitagami 橋は、トラス形式の上部構造であり左岸側の 2 スパンのみが流出した。またこの橋梁には耐震対策として落橋防止装置が設置されていたが、津波による桁の流出は阻止できなかった。すなわち、津波作用力は想定外地震で機能するはずで

あった落橋防止装置の性能を超過するようなレベルであると考えられるべきだ。

Photo 5 に示す Utatsu 橋は海岸付近に位置しており，橋梁の下側は港である．この橋では多くの上部構造が流出している．現地の被害状況より，津波により上部構造が浮き上がり，を伴いながら回転し流出したものと考えられる．また下部構造は耐震補強が行われていたが，1 つの橋脚のみ柱部に被害が認められた．

Photo 6 に示す Koizumi 橋は，Utatsu 橋と同様に耐震補強が行われていた橋梁であるが，上部構造がすべて流出した．この橋は鋼製であり，流出した上部構造を確認すると，橋桁部のメタル部と床版の鉄筋コンクリートが分離するような被害となった．これは，桁が流出した際，津波に巻き込まれた上部構造が津波流体の中で攪拌される様な状況になり，その結果として，これらが分離に至った被害であると考えられる．

Photo 7 は JR-line 橋を，Photo 8 は Kesen 橋を，また Photo 9 Numata 橋を示す．Photo 7 の JR-line



(a) The view of bridge

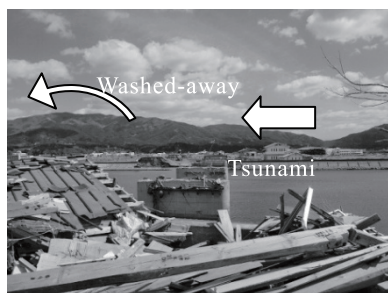


(b) Superstructure

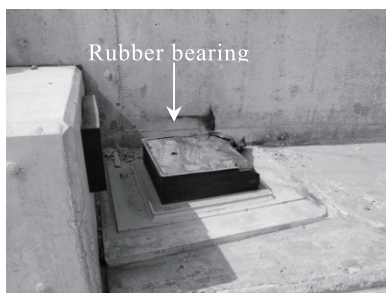


(c) Pier

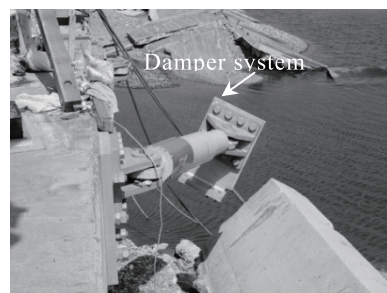
Photo 7 JR-line Bridge (Kesennuma-line)



(a) The view of bridge



(b) Rubber bearing



(c) Damper

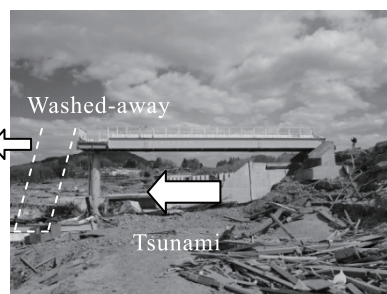
Photo 8 Kesen Bridge



(a) The view of bridge



(b) Pier



(c) Viaduct

Photo 9 Numata Bridge

は、気仙沼線である。鉄道橋はこれ以外に多くの被害を受けているが、ほぼ同様な被害形式であった。鉄道橋の場合、橋脚の損傷や

上部構造の流出、また盛土部の流出が多い。橋脚の損傷が道路橋に比較し多いことは、現地の損傷から判断する限り建設年度が古いものが多いことが影響していると考えられる。

Photo 8 に示す Kesen 橋と、Photo 9 に示す Numata 橋は共に陸前高田市に位置する橋梁であり、耐震補強が行われていた橋梁である。上部構造は PC と鋼製で異なる形式であるが、上部構造がすべて流出する被害は同じである。Kesen 橋は Koizumi 橋と同様な損傷形態、また Numata 橋は Utatsu 橋と同様な損傷形態であった。

4. まとめ

この論文では、東北地方太平洋沖地震で被害を受けた代表的な橋梁 9 橋を対象に、現地調査の状況を報告すると共に、限られた条件ではあるが被害の推定を行った。下記にこれらのまとめを述べる。ただしこの考察は、先にも述べた様に限られた資料と現地調査に基づくものであるため、今後の調査や分析の結果により修正や加筆を行う可能性があることを述べておく。

- (1) 沿岸部に位置する橋梁では、上部構造が流出するなどの被害が多く認められた。
- (2) これらの被害を受けた橋梁は、特定の構造ではなくて、PC 橋や鋼製橋、トラス橋、鉄道橋などあらゆる構造で発生している。特に鉄道橋の被害は深刻である。
- (3) 耐震補強が行われた橋梁でも津波により上部構造が流出している。しかしながら下部構造は限定した被害であり多くの橋脚は流出を免れた。また今回対象とした Koizumi 橋のみ下部構造の橋脚（1 脚）が流された。
- (4) 津波高が増大しやすいリアス式海岸だけでなく、宮城県の南部側から福島県の沿岸部である一般的な海岸形状においても、上部構造の流出被害が認められた。

謝辞

この研究は、福井工業大学特別研究費であるクラスタ C（平成 22 年度から三年間、研究代表者：砂川武義教授）「原子力安全技術の研究」の助成を受けて実施しました。ここに記して感謝の意を表します。

（平成 24 年 3 月 31 日受理）