

東日本大震災により発生した津波による橋梁被害

大日本コンサルタント(株)	正会員	工修	○清水	英樹
九州工業大学	正会員	Ph. D	幸左	賢二
福井工業大学		工博	竹田	周平
大日本コンサルタント(株)		工修	稲垣	裕之

Abstract : Many bridges were washed away by Tsunami caused by the 2011 great Higashinippon earthquake. We carried out the field survey and analyzed the damage mechanism of two bridges in Mimamisanriku-cho, Miyagi prefecture. The analysis showed that whether the bridge pier is washed or not can be judged by the ratio between moment of the tsunami action and resistance of the bridge. Moreover, the analysis showed that whether the bridge superstructure is washed or not is judged by the ratio between applied load by the tsunami action and resistance of the bridge. Positive cross correlation was observed between movement (girder and original position) and residual displacement of the pier in the case of a simple girder.

Key words : Tsunami , Damedged bridge , Damege analysis

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方の牡鹿半島東南東約130km付近を震源とするM9.0の大地震が発生し、この地震に伴う津波により、東北地方太平洋沿岸が甚大な被害を受けた。気象庁の報道発表資料¹⁾によると、**図-1**に示すように宮城県北部から岩手県南部にかけて7~12mの津波高が痕跡等から推定されている。今回検討対象とする宮城県南三陸町本吉地区は、最も震源に近いエリアの一つで、10m程度の津波に襲われたと推定される。著者らは、地震直後の2011年3月16~21日、3月31日~4月5日、5月3~8日の計3回の東北地方太平洋沿岸被害調査を実施し、多数の橋梁が流出しているのを確認している。

本研究では、我が国での津波による橋梁の損傷状況を明らかにし、橋梁の津波による被害現象の検討材料を提供することを目的として、検討を行った。

2. 津谷川河口付近の橋梁被害

図-2に南三陸町本吉町地区の津谷川河口付近の橋梁流出状況を示す。この付近では、道路橋(側歩道含む)が4橋の14径間以上、鉄道橋が2橋の7径間の上部構造が上流側に押し流され、津谷川最下流の小泉大橋では橋脚が流出、上流の津谷川橋りょうでは橋脚が損傷し柱や梁が傾斜した。現地では、この国道45号線の小泉大橋とJR気仙沼線の津谷川橋りょうを中心に撮影を行い、外観、寸法、損傷状況について詳細に調査を実施した。



図-1 東北地方太平洋岸の津波高さ¹⁾

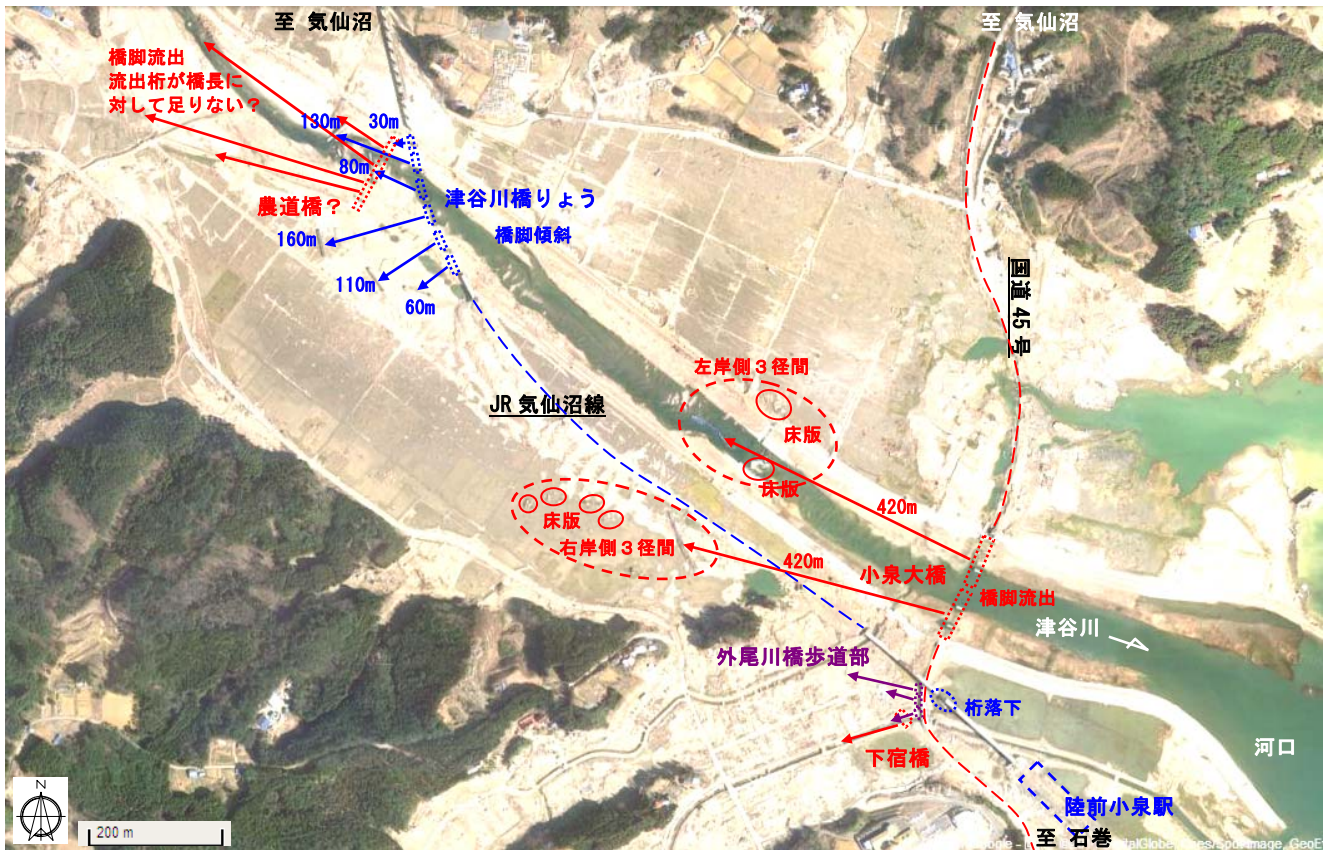


図-2 津谷川河口（南三陸町本吉町地内）付近の橋梁流出状況

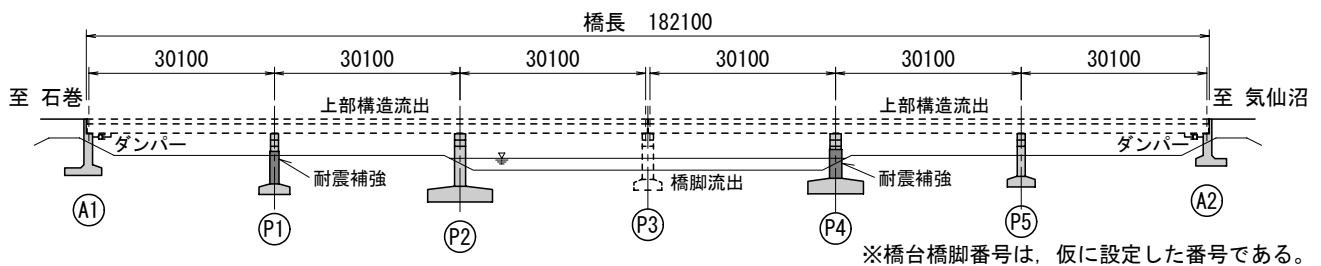


図-3 小泉大橋側面図（被災後）

3. 小泉大橋（国道45号線）

3.1 調査結果

文献²⁾と現地計測結果から復元した小泉大橋の側面図を図-3に、断面図を図-4に示す。上部構造は、支間長30.1mの鋼3径間連続4主桁桁が2連の計6径間であり、現地の損傷床版より床版支間が2.9mでRC床版下面に鋼板接着補強が施されていることを確認した。今回の津波により全6径間が流出し、左岸側3径間の主桁は、**写真-1**に示すように、架橋位置上流約420mの津谷川河川内に移動している。主桁の床版は完全に分離しており、**写真-2**の床版下面と上フランジ接合面の状況から非合成構造と考えられる。右岸側3径間の主桁も同様に上流約420mの右岸堤内地に移動しており、主桁と床版は完全に分離していた。

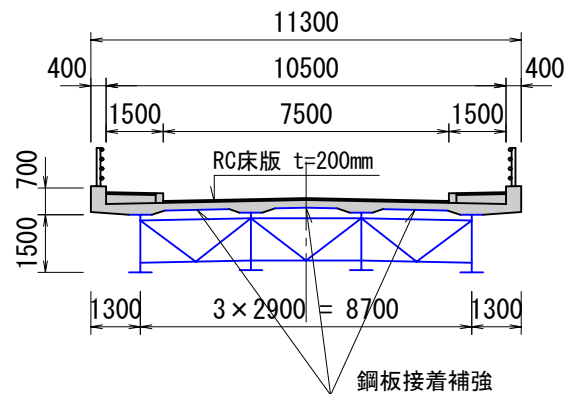


図-4 小泉大橋断面図

写真-1の左岸側3径間分の主桁は、横構の設置状況から下フランジを上にした状態である。上を向いている下フランジ下面に着目すると、橋軸直角方向の引っ掻きキズが多数存在する。また、架橋地点から主桁の移動地点間の左岸堤防状況を写真-3に示す。これを見ると、堤防河川側法肩に約300mにわたって損傷が有り、一部青色塗料の付着がある。これらのことから、左岸側主桁は下フランジ下面が堤防法肩と接触しながら上流へと移動していったと考えられる。

下部構造は、P1橋脚とP4橋脚の柱部が耐震補強実施済みで、両側橋台にダンパーが設置してある。河川中央の掛違い橋脚であるP3橋脚は、地震および津波で流出しているがその他の下部工本体には目立った損傷は見られない。流出したP3橋脚を数回に渡って右岸側左岸側より目視で捜索するが確認できなかった。写真-4は、右岸(A1)橋台に残されたダンパーである。橋台側に残されたダンパーは、図-5に示すように4本中3本であり、残った3本は主桁下フランジとブラケット接合部で切れて、使用



写真-1 主桁（左岸3径間分）

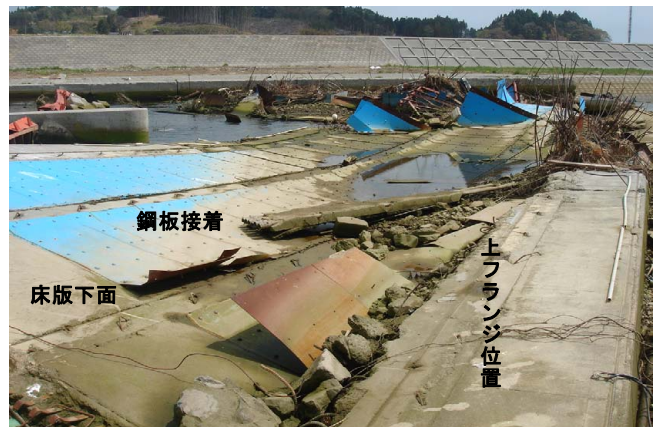


写真-2 床版（河川内）



写真-3 左岸堤防（架橋位置上流約100m）



写真-4 右岸橋台側ダンパー

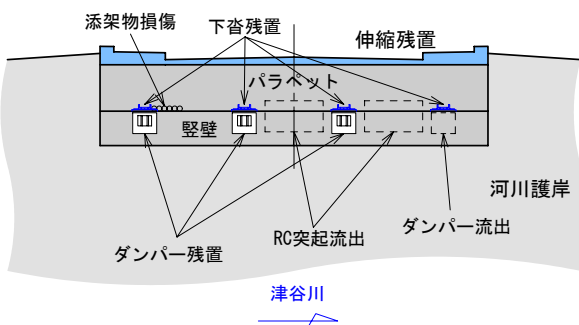


図-5 A1橋台正面図（被災後）

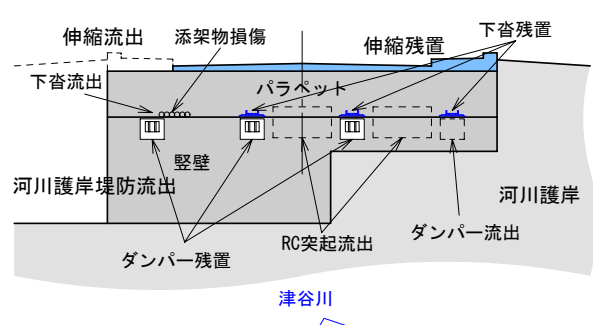


図-6 A2橋台正面図（被災後）

していたボルトが1本ブラケット側に残っていた。被災後の両橋台正面図を図-5, 6に示す。A1橋台は、下流側のダンパーが1本のみ流出し、上部工桁端部構造から落橋防止構造が設置されていたと考えられるRC突起が2箇所全て流出している。下沓については全て沓座に残っていた。A2橋台は、A1橋台と同様に下流側のダンパーが1本のみ流出し、RC突起が2箇所全て流出している。A2橋台の上流側については、河川護岸堤防の盛土流出が大きく、同じく上流側の歩道部伸縮装置や下沓が流出していた。

3.2 津波作用力と抵抗力の比較

流出していたP3橋脚に関して、文献³⁾を基に津波高10mの静水圧が橋軸直角方向に作用すると仮定して柱基部での抵抗モーメントと作用力モーメントの試算を行った。柱基部の抵抗モーメントは、断面高さ6.0m×幅1.8mの小判形で、主鉄筋をSD295 D16 ctc300, コンクリートを $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$ と仮定すると、20500kN・m程度となる。また、津波作用力は簡易的に試算できるように水の重量を 10kN/m^3 で図-7に示すように標高0m以上について三角形分布と仮定し、受圧面積を上部構造が30.1m(支間長)×h2.6m, 下部構造が幅1.8m×h5.0mとする。このとき柱基部に作用するモーメントは、26000kN・m程度となり耐力の1.27倍であることから、P3橋脚は柱基部が終局耐力を超え流出する判定となる。図-8に同様の手法でP2橋脚や津波高が13mと仮定した場合の作用と抵抗の柱基部曲げモーメントもあわせて示す。沓座に残置した下沓の形状より固定橋脚と考えられるP2橋脚は、抵抗モーメントが96000kN・m程度と大きいため、仮に津波高が13mであったとしても抵抗モーメントが1.78倍大きく流出しない判定となる。

また、流出した上部構造について、桁移動有無の簡易判定式⁴⁾(1)を用い水の流速 v を6.0m/s, 摩擦係数 μ を0.6と仮定すると、 β が0.70となり桁抵抗力に比べ津波作用力が大きく桁流出する判定となる。

$$\beta = \frac{\mu \cdot W}{\frac{1}{2} \rho_w \cdot C_d \cdot v^2 \cdot A} \quad \left(\begin{array}{l} \leftarrow \text{桁抵抗力} \\ \leftarrow \text{津波作用力} \end{array} \right) \quad (1)$$

ここに、 W : 上部工死荷重重量, ρ_w : 水の密度, C_d : 抗力係数, A : 上部工の有効鉛直投影面積

4. 津谷川橋りょう (JR気仙沼線)

4.1 調査結果

現地調査結果と図-2から復元した津谷川橋りょうの側面図を図-9に、断面図を図-10に示す。

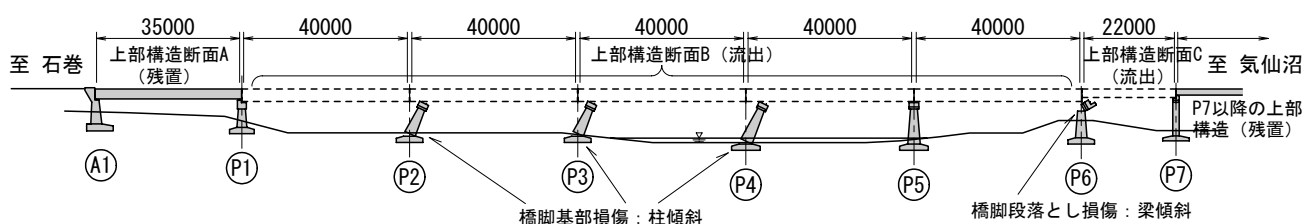


図-9 津谷川橋りょう側面図 (被災後)

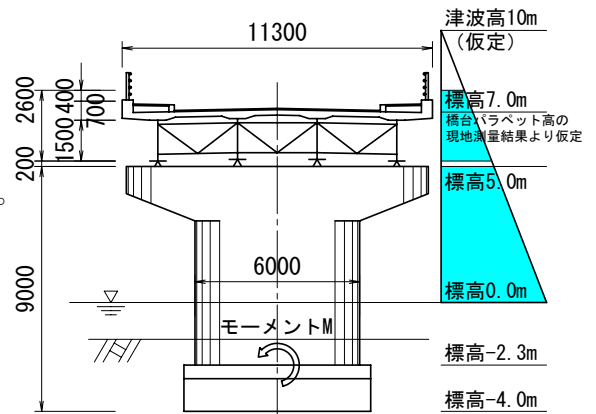


図-7 津波作用力 (P3 橋脚)

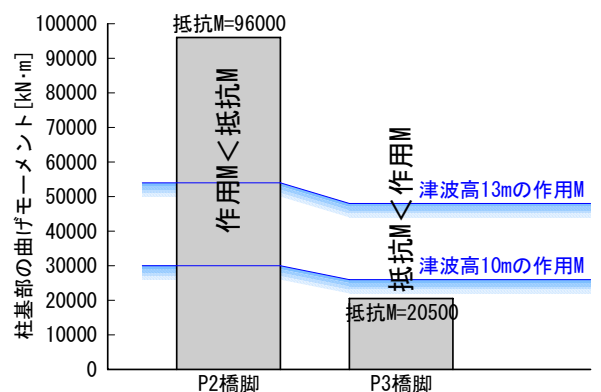


図-8 柱基部の作用と抵抗 M 比較

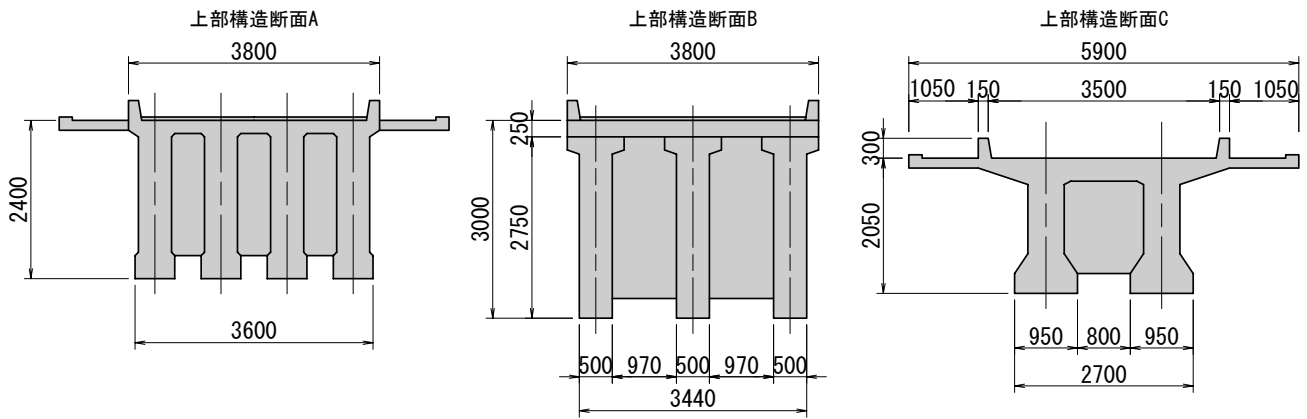


図-10 断面図



写真-5 P2, P3, P4 橋脚の柱傾斜



写真-7 上部構造断面Bの流出桁



写真-6 P6 橋脚の梁傾斜



写真-8 上部構造断面Cの流出桁

津谷川渡河部の上部構造は、単純PC桁が石巻側より支間長35mが1径間、支間長40mが5径間、支間長22mが1径間の計7径間であり、支間長の違いにより断面A(L=35m)が桁高2.4mの4主桁、断面B(L=40m)が桁高3.0mの3主桁、断面C(L=22m)が桁高2.05mの2主桁構造であることを確認した。今回の地震と津波により、渡河部7径間中6径間が上流側に流出し、図-2に示すように桁移動距離は30~160mで、小泉大橋の420mに比べ距離が40%以下となっている。写真-5, 6に損傷した橋脚の状況を示す。図-9と併せて見ると、河川中央付近のP2~4は柱基部で損傷し、柱が全て上流側に傾斜している。また、堤体内のP6橋脚は、梁下約0.5mの高さで段落とし損傷しており、梁部が上流側に大きく傾斜している。写真-7, 8に流出したPC桁の状況を示す。断面B, C共に管理用の張り出し部を除いて流出後も桁形状を保持しており、写真-1の鈹桁と比較すると上部構造の剛性、特にねじり剛性が高く上部構造外形寸法を容易に計測可能であった。写真-8のP6-P7径間の上部構造は、上流側に30m程度の移動であるが、

上下逆さとなった状態である。

写真-6に示すP6橋脚は、梁が傾斜しており沓座面の状況が容易に確認できたため、図-11にP6橋脚掛け違い沓座面の詳細を示す。断面Bの3主桁であるP5側は、下沓が3個全て残っているがサイドブロックが6箇所全て流出している。また、上流側の下沓の沓座モルタルが一部損傷している。断面Cの2主桁であるP7側は、鋼材による支承補強が施され、主桁下面位置で主桁内に埋め込まれている上沓のアンカーが破断しており、写真-8の桁下面でも破断アンカーを確認した。P7側支承には、沓両端部に座金が1箇所ずつ計4箇所設置されていたと考えられるが、そのうち下流側支承の上流側座金1箇所が流出している。支承以外では、上流側でコンクリートかぶり部が切欠き損傷しており、P5側の上部構造流出に伴い衝突した痕跡と考えられる。

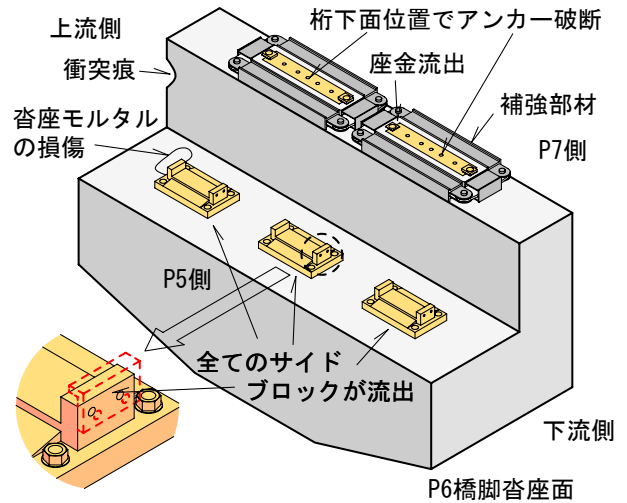


図-11 P6 橋脚沓座面詳細

4.2 桁移動と下部工損傷

津谷川橋りょうは、全て単純桁であるため、上部構造とそれを支える下部工の関係が単純であることから図-12に図-2に示した各桁の移動距離と下部工の残留変形有無の関係を示す。図中に示す下部工のうち、P1～P6橋脚が河川内の下部工であり、P5橋脚を除いて柱および梁部に残留変形がある。これに桁移動距離を重ねると、河川中央部のP2～P6径間の桁移動が大きく、河川内の橋梁には堤内地に比べ大きな津波力が作用したと推定され、桁移動距離と下部工損傷には、正の相関関係があると考えられる。

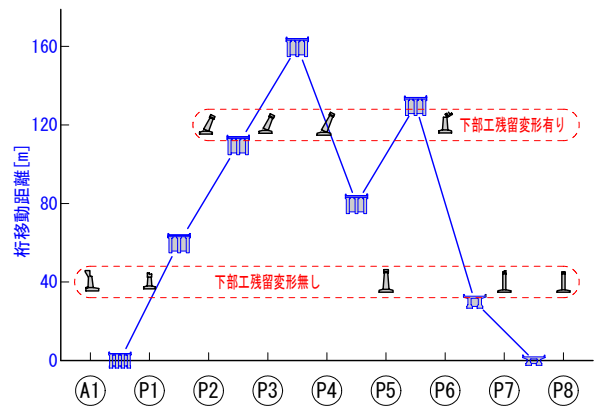


図-12 桁移動距離と下部工損傷の関係

5. まとめ

- (1) 小泉大橋において、流速等を見放した実津波高を静水圧と仮定する簡易な試算によって、津波による流出橋脚と流出していない橋脚の判定が可能であった。また、流出した上部構造を桁移動有無の簡易判定式を用いた試算の結果、抵抗に比べ津波作用力が大きく桁が流出する判定となった。
- (2) 単純桁の場合は、上部構造とそれを支える下部工の関係が単純であることから、津波に伴う桁移動距離と下部工の損傷には正の相関関係があると考えられる。

参考文献

- 1) 気象庁：現地調査による津波観測点付近の津波の高さについて、報道発表資料，2011.4. (<http://www.jma.go.jp/jma/press/index.html?t=1&y=23>)
- 2) 建設省 東北地方建設局：東北地建の橋梁(Ⅱ)，pp. 308-309, 2000. 3.
- 3) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン，巻末資料2, pp. 6-8, 2005. 6.
- 4) 幸左賢二，二井伸一，庄司学，宮原健太：スマトラ沖地震に伴う津波による橋梁の被害分析，構造工学論文集Vol. 56A, pp. 454-463, 2010. 3.