

気仙大橋の津波減災のための試設計と効果

(株)長大 正会員 ○虻川 高宏
八戸工業大学 正会員 長谷川 明

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、岩手県・宮城県・福島県を中心とした広範囲に土木構造物の被害が発生している。太平洋沿岸に位置する橋梁は津波による被害が甚大で、多くの橋梁で通行止めとなり救援・復旧の障害となった。特に陸前高田において、気仙川河口に架かる気仙大橋と姉齒橋が津波で流失したことにより対岸との通行が遮断され、10km以上の迂回を余儀なくされた。そこで被害の大きかった気仙大橋を事例として、津波減災のための試設計と効果について検討を行なった。



写真-1 気仙大橋被災後全景

2. 気仙大橋の概要

路線名：一般国道 45 号

橋 長：181.5m

支間割：3@35.97+2@35.97

有効幅員：12.5m (2.0m+4.25m+4.25m+2.0m)

竣 工：1982 年 (S57)

地盤種別：Ⅲ種地盤

上部工：3+2 径間連続鋼鈑桁橋 下部工：逆 T 式橋台・壁式橋脚

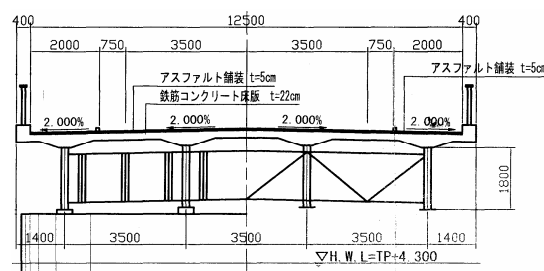


図-1 上部工断面

3. 被災状況

主桁は、気仙川上流に約 300m 流されており、RC 床版の一部はさらに約 100m 上流に流されている。支承はゴム支承であり、セットボルト破断、アンカーボルト破断、積層ゴムの破断等様々な破壊形態となっている。橋台・橋脚に大きな損傷は見られない。

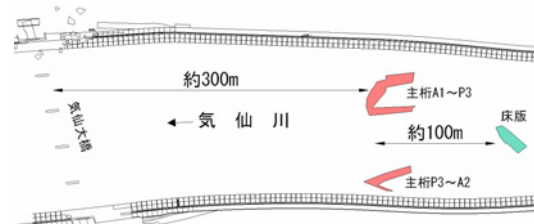


図-2 気仙大橋流失状況

4. 気仙大橋の安定性について

気仙大橋の流失した要因を推測するため、安定性について検討を行う。自重 Dl に対して津波による水平力 Fx 、浮力 Bu 、揚力 Fz の外力から安全率 sf を求めた。水平力 Fx は以下のモリソン式を用いて算出する。

$$Fx = \frac{1}{2} \rho_w C_d A q^2 + C_m \rho_w A B \frac{dq}{dt} \cdots \cdots (1)$$

ここで、 ρ_w は海水の密度 (1030 kg/m^3)、 C_d は抗力係数で既往研究¹⁾の最大より 2.0 と仮定し、 q は流速 (m/s)、 C_m は慣性力係数、 A は上部工の投影面積 (m^2)、 B は幅員 (m)、 dq/dt は加速度である。本検討において加速度の影響は無視する。揚力 Fz は既往研究²⁾より $Fz = Fx$ と仮定する。安全率 (滑動 Hsf 、浮き上がり U_dsf 、転倒 $Mysf$) は以下のように算出し、 sf 値が 1 未満となる場合、滑動、浮き上がり、転倒することを意味する。

$$Hsf = \frac{Dl \cdot k_{hc}}{Fx} \cdots \cdots (2) \quad U_dsf = \frac{Dl}{Bu + Fz} \cdots \cdots (3) \quad Mysf = \frac{\frac{B}{2} \cdot Dl}{\frac{B}{2} (Bu + Fz) + \frac{h}{2} Fx} \cdots \cdots (4)$$

ここで、 h は投影高さ (m)、 k_{hc} はレベル 2 地震動 (タイプ II) の設計水平震度 0.67 (許容塑性率 $\mu=3$ と仮定) とし、橋梁で想定する設計水平力を抵抗力とした。浮き上がり、転倒については支承の引張抵抗力は無視し自重のみを抵抗力とした。

キーワード 東日本大震災、津波、橋梁、安定計算、気仙大橋

連絡先 〒984-0051 宮城県仙台市若林区新寺一丁目 2 番 26 号 (株)長大 仙台技術部 TEL 022-781-8628

図-3 に流速毎の安全率を示す。破線は、主桁に囲まれた桁間閉塞空間内に空気が閉じ込められ、その浮力を想定した場合を示し、その割合を 25%, 50%, 100%とした。

浮き上がり、転倒において、流速 5~6m/s で安全率 1 を下回るが、空気が閉じ込められた場合、安全率は急激に低下する。桁空間の 25%で流速 3m において安全率 1 を下回る結果となった。水平力に対しては、流速 6m/s 程度で安全率 1 を下回る。

5. 桁高の影響

流速 5m/s において桁高を $H=1.40\text{m} \sim 2.10\text{m}$ に変化させた場合を図-4 に示す。気仙大橋の桁高 $H=1.80\text{m}$ から 1.40m と低くした場合、滑動安全率で 0.3 程度、浮き上がり、転倒安全率で 0.1 程度の安定性向上が図れる。

図-5 に桁高や桁本数等を変化させた上部工概算工事費の分布を示す。経済的な桁高は桁高支間比 1/20 の $H=1.80\text{m}$ 程度となり、 $H=1.40\text{m}$ 程度まで桁高を低くするには、7%程度の工事費増加の負担となる。近年合理化構造として採用実績が豊富な少数主桁は桁高が高いため、従来形式で桁高を低くする事による津波に対する安定性向上効果は比較的大きいと考えられる。

また、図-6 に示すように桁高を低くすることにより桁間閉塞空間が大幅に減少するため、浮力低減効果も期待できる。

6. 安定性向上対策案

気仙大橋において、浮力・揚力が津波安定性に大きな影響をおよぼしていると考えられる。そこで、安定性向上対策として①桁高の低減、②主桁腹板に開口を設ける、③アンカーケーブルによる主桁の橋脚定着、④床版の一部をグレーチング化等の浮力・揚力対策が有効であると考えられる。

7. まとめ

気仙大橋を例に、津波に対する桁高の影響を安定計算から考察した。鋼鈑桁橋において浮力および揚力が、安定性に対する大きな要因であると推測される。今後はコンクリート橋も含め、抗力係数や揚力等の妥当性について実験等で検証し、具体的な津波対策および効果について検討していきたいと考えている。

謝辞

本検討の対象橋梁である気仙大橋について、国土交通省東北地方整備局より資料をご提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 庄司ら：橋桁に作用する砕波段波の流体力に関する実験的検討 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol.66, No.1, 2010
- 2) 嶋原ら：2004 年インド洋津波におけるスマトラ島北西部沿岸の被災橋梁に関する数値計算 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol.65, No.1, 2009

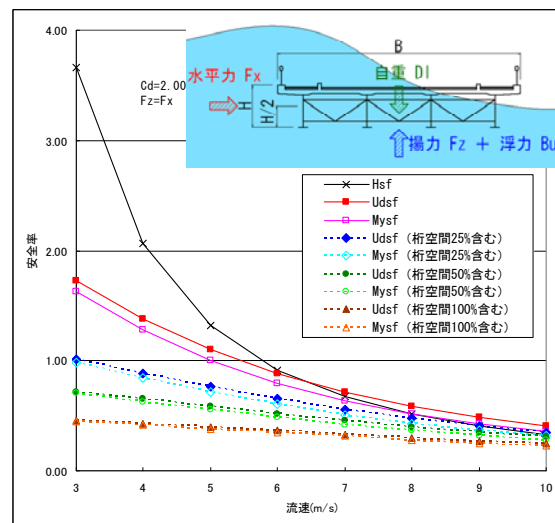


図-3 気仙大橋の安定性

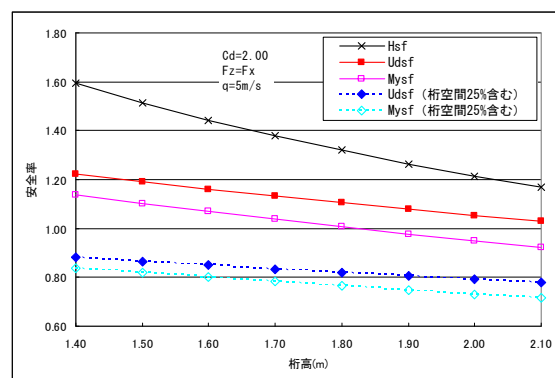


図-4 桁高の安全率への影響(流速 5m/s)

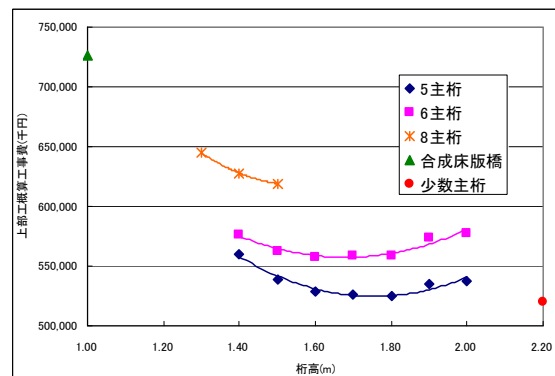


図-5 桁高と上部工概算工事費

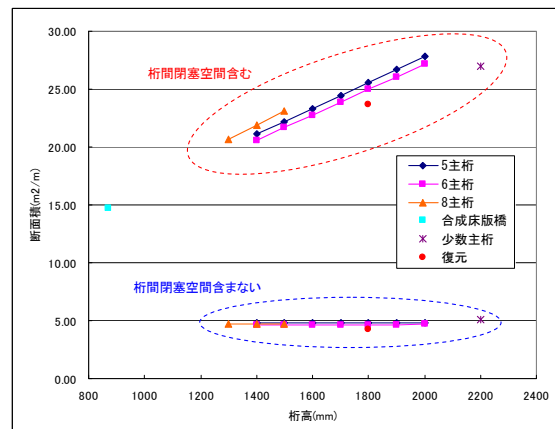


図-6 桁高と浮力断面積