

流れによる圧力低下を考慮した橋桁に作用する鉛直津波力の算定手法に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 澤 祐太郎
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 中村 友昭
 名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美

1. **はじめに**：東北地方太平洋沖地震に伴う大津波により，多くの橋桁が流出した．このような津波による桁の流出被害の解明に向けて，現在までに多くの研究が行われている(例えば中村ら，2013)．中村ら(2014)は，長周期波を対象とした水理模型実験を行い，鉛直津波力の算定手法について検討している．しかし，実験装置等の制約から，多様な波条件で実験を行うには至っていない．本研究では，中村ら(2013，2014)が行った水理模型実験をモデル化した数値解析を実施し，鉛直津波力の算定手法についてさらなる考究を行う．

2. **数値解析の概要**：本研究で用いる解析には，中村・水谷(2012)が開発した3次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデルを使用した．図-1 に示すように，中村ら(2013)が行った水理模型実験で用いた実験をモデル化した計算領域を用いた．具体的には，1/7 勾配の不透過斜面を有する高さ 0.40 m の不透過水平床に，図-2 に示すような橋桁モデル(長さ $L_s=0.30$ m，高さ $H_s=0.046$ m，幅 $B_s=0.175$ m)を設置した．そして，津波をモデル化した押し波初動の長周期波 1 波(周期 $T=4\sim 10$ s，造波板ストローク $S=0.6\sim 1.36$ m)を作用させた．造波条件は，初期水深 h ，すなわち桁下高 h_c の影響を検討するために， $h=0.47\sim 0.50$ m($h_c=0.03\sim 0.0$ m)まで 0.01 m ごとに变化させて解析を行った．

3. **解析結果及び考察**：図-3 に，橋桁に作用する鉛直津波力 F_z が負となる時刻における橋桁周辺の流動場を示す．同図より， F_z が負となる時刻には，桁下面の空間内に負圧が生じていることが確認できる．また，桁の上面にも津波が越流する様子が確認できることから，桁下面の圧力低下と桁の上に水塊が載った影響を受けて負の鉛直津波力が発生するに至ったと推察される．中村ら(2014)は，水理模型実験で同様の現象を確認しており，それを裏付ける結果といえる．中村ら(2014)は，通過波の桁中央位置での水位変動 η を用いて，

$$F_b = \begin{cases} 0 & \text{if } \eta < h_c \\ \rho_w g (\eta - h_c) B_b L_s & \text{if } h_c \leq \eta < h_c + H_b \\ \rho_w g \{ H_b B_b + (\eta - h_c - H_b) B_s \} L_s & \text{if } h_c + H_b \leq \eta < h_c + H_s \\ \rho_w g \{ H_b B_b + H_f B_s \} L_s & \text{if } h_c + H_s \leq \eta \end{cases}$$

から求めた浮力と，ダウンフォースの和として，

$$F_{bv} = F_b + C_L \left(\frac{1}{2} \rho_w v^2 \right) S_z$$

とした式から鉛直津波力の算定を試みている．ここで， C_L は揚力係数(=-2.5)， v は桁前面位置での通過波流速， H_f は床版の厚さ(=0.01 m)， H_b は主桁

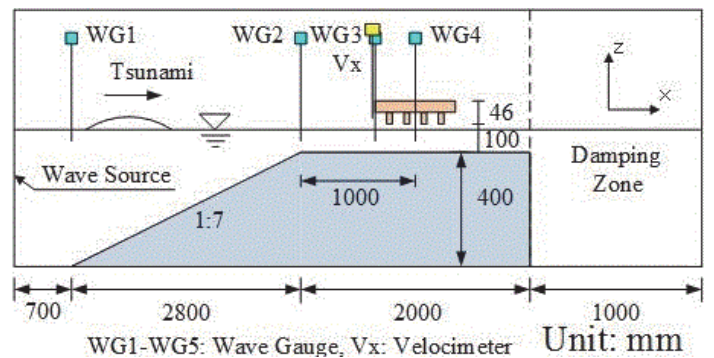


図-1 計算領域

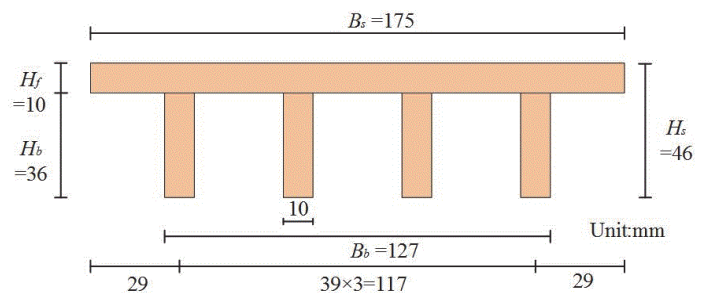


図-2 橋桁モデル

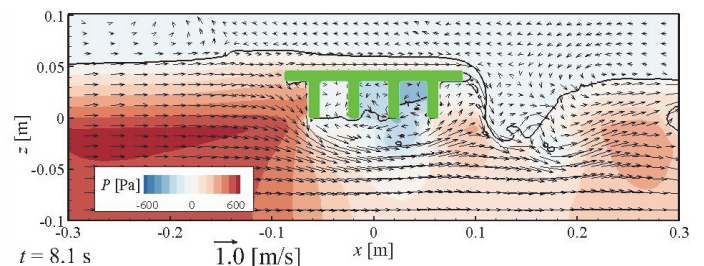


図-3 $F_z < 0$ 時における橋桁周辺の流動場

($T=10$ s, $S=1.36$ m, $h=0.49$ m)

の高さ(=0.036 m), B_b は沖側の主桁と岸側の主桁の距離(=0.127 m), S_z は代表面積(= $B_b L_s$)である．図-4に，上述した方法で求めた算定値 F_{bv} と，解析値 F_z の時系列を示す．なお， F_{bv} については後述する．同図から， F_{bv} は F_z を過小評価し，初期水深 h が下がるほどそれが顕著になることが分かる．これは，ダウンフォースを通過波流速のみから求めており，水位変動 η と桁下高 h_c の影響を考慮していないことが要因であると考えられる．そこで，相対波高 H' を

$$H' = \begin{cases} 0 & \text{if } \eta < h_c \\ \frac{\eta - h_c}{H_s} & \text{if } h_c \leq \eta < h_c + H_s \\ 1 & \text{if } h_c + H_s \leq \eta \end{cases}$$

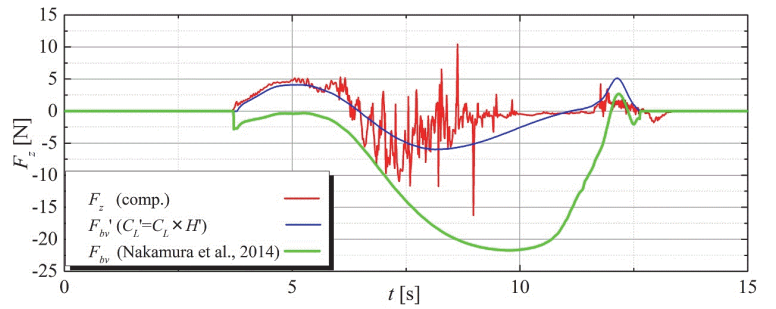
と定義したとき，ダウンフォースが H' に影響されると仮定して，揚力係数 CL' を以下のように定義し直す．

$$C_L' = H' C_L$$

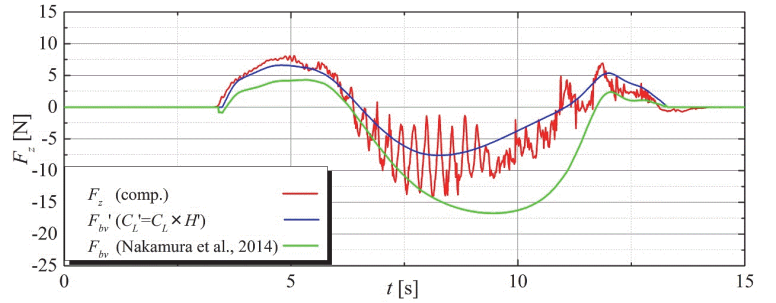
上記の方法で CL' を用いて算出した $F_{bv'}$ と F_z を比較すると，図-4より， $F_{bv'}$ は鉛直津波力の作用開始時からピーク値に達し，減少に至るまでの波形を概ね良好に再現していることが分かる．これは，津波作用開始直後は，津波がほとんど桁に作用しておらず，相対波高 H' が非常に小さいため，ダウンフォースによる影響が過大にならず，適切に評価できたことが要因であると考えられる．また，図-4(d)から， $h=0.50$ m(桁下高 $h_c=0.0$ m)の場合は H' がほぼ1となるため， $F_{bv'}$ は F_{bv} とほとんど差は無く，どちらでも解析値を評価できていることも分かる．以上より，今回の方法を用いることで，より多様な条件下で鉛直津波力を評価できる可能性が示唆される．

4. おわりに：本研究では，中村ら(2013, 2014)の行った水理模型実験を基にした数値解析を行い，鉛直津波力の算定手法についてさらなる考究を行った．その結果，相対波高 H' を考慮してダウンフォースを評価することで，浮力とダウンフォースの和から鉛直津波力を良好に評価できる可能性を示した．しかし，揚力係数 CL の算定や，算定式の適用範囲について課題を残していることから，さらなる検討を行う所存である．

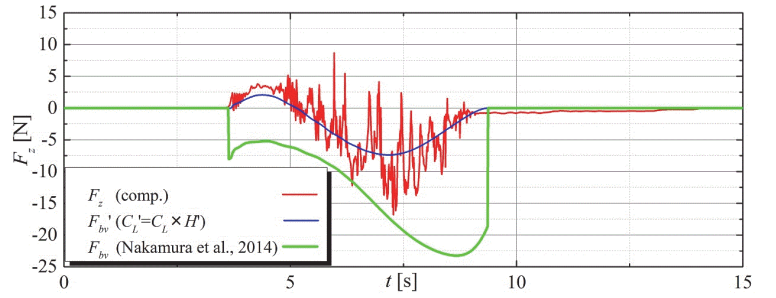
謝辞：本研究は，科研費補助金基盤研究(A)(代表者：長岡技術科学大学・丸山久一)の補助を受けたことを付記し，謝意を表する．**参考文献：**[1] 中村ら(2013)：土論 B3(海洋開発)，69(2)，335-340．[2] 中村ら(2014)：土論 B3(海洋開発)，70(2)，420-425．[3] 中村・水谷(2012)：第26回数値流体力学シンポジウム，E07-1，10 p．



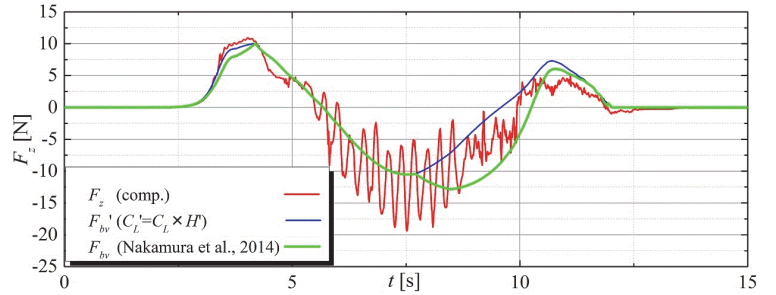
(a) $T=10$ s, $S=1.36$ m, $h=0.48$ m



(b) $T=10$ s, $S=1.36$ m, $h=0.49$ m



(c) $T=8$ s, $S=1.32$ m, $h=0.47$ m



(d) $T=8$ s, $S=1.32$ m, $h=0.50$ m

図-4 鉛直津波力の時系列