

橋桁に作用する津波力と波圧の特性に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 澤 祐太郎
名古屋大学高等研究院 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：東日本大震災では津波により多数の橋桁の流出が報告されている（例えば土木学会，2013）．現在までに，桁への作用津波力や桁の流出現象についての研究が水理実験と数値計算の両面から行われている．中村ら（2013）は，東日本大震災で確認されているような水位が徐々に上昇しながら桁が水没し流出に到る状況を対象とし，桁へ作用する津波力の特性と桁の流出限界との関係を考究した．しかし，波圧の観点からの津波力の検討は行っていなかったことから，本研究では，桁に作用する津波力と波圧の特性の比較を行うことにより，桁へ作用する津波力に対するさらなる考究を行う．

2. 水理模型実験の概要：図-1 に示すピストン型造波装置を備えた造波水槽内に，図-2 に示す歌津大橋の PC ポステン T 桁を 1/50 でモデル化した模型（長さ $L_s=0.30$ m，高さ $H_s=0.046$ m，幅 $B_s=0.175$ m）を設置して実験を行った．図-1 に示すように，不透過床の上部に仕切り板を固定し，桁模型より若干広い 0.31 m の幅の水路を 3 つ用意した．水路 1 には，高さ 0.10 m の橋台を設置し，その上に桁移動の有無を確認する非固定の桁を置いた．ここで，設置する桁には，アクリル製の軽い桁（重さ $W=1.19$ kg）とアルミ製の重い桁（ $W=2.70$ kg）の 2 種類を用いた．水路 2 には，波力と波圧を測定するために，波圧計（共和電業製 PS-05KCM3Z5P）を貼ったアクリル製の桁を 3 分力計（日章電気製 LMC-3520-50NWP）に固定した．波圧は，図-2 に示すように，桁沖側面の 2 点（ p_1 ， p_2 ）と，桁下面の 3 点（ p_3 ， p_4 ， p_5 ）で計測した．水路 3 には桁を設置せず，電気容量式水位計（KENEK 製 CHT6-40）とプロペラ流速計（KENEK 製 VOT2-100-05N）を設置して，桁がない状態での水位変動と流速を計測した．そして，桁のすぐ下まで水位が上昇してきた状況を想定し桁下高 h_c を 0.01 m（静水深 0.49 m）とし，砕波を伴わない押し波初動の長周期波 1 波（周期 $T=12\sim 24$ s，造波板ストローク $S=82\sim 146$ cm）を作用させた．

3. 実験結果及び考察：図-3 に，水平波力 F_x と桁沖側面に作用する圧力 p_1 ， p_2 の時系列を示す．同図より， F_x がまず増加を開始した後，水位の上昇に伴ってウェブ中央に設置した p_2 ，桁の張り出し部に設置した p_1 が順に増加していることが分かる．また， p_1 ， p_2 と F_x の最大値の発生時刻は概ね一致しており，その後の F_x の減少も p_1 ， p_2 の減少と対応していることから，桁沖側面に作用する圧力の傾向は水平波力と一致していることが分かる．同図には，

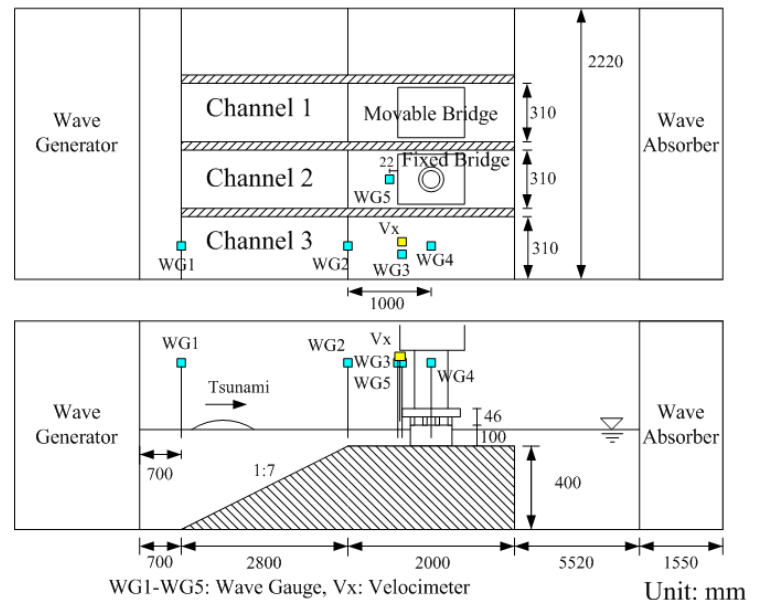


図-1 実験装置の概略図

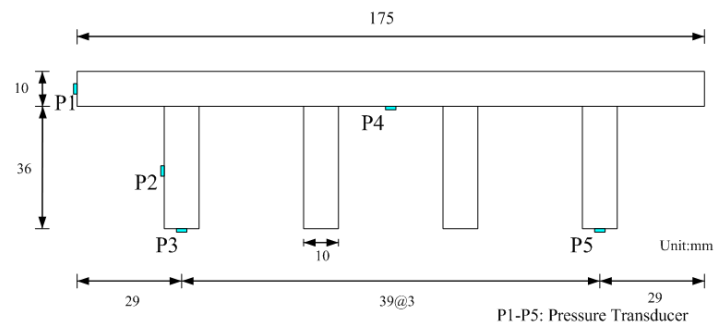


図-2 橋桁の概略図と波圧計の位置

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w C_d A v^2 \quad (1)$$

として推定した抗力 F_D も同時に示した．ここで， C_d は抗力係数であり，幸左ら（2010）に倣って道路橋示方書の経験式を用いて求めた．また，桁沖側面への投影面積 A は，WG3での水位変動 η_3 から，

$$A = \min(\eta_3 - h_c, H_s) \times L_s \quad (2)$$

として求めた．図-3の F_x と F_D を比較すると， F_D は立ち上がりが遅く，減少し終わるのが早いことが分かる．これは，流速計を桁中央の高さに設置しており，水位が流速計を下回っていたためである．しかし，水位が流速計の高さまで上昇した状態であれば， F_D は F_x とほぼ一致していることが分かる．以上から，砕波せず水位上昇を伴って桁に作用する場合の水平波力は，通過波の流速と水位変動から概ね評価できると考えられる．

図-4に，鉛直波力 F_z と桁下面に作用する圧力 p_3 ， p_4 ， p_5 の時系列を示す．同図には，桁中央に位置するWG4の水位変動 η_4 から，

$$F_b = \begin{cases} 0 & \text{if } \eta_4 - h_c \leq 0 \\ \rho_w g A_b (\eta_4 - h_c) & \text{if } \eta_4 - h_c > 0 \end{cases} \quad (3)$$

として求めた浮力 F_b も示した．ここで， A_b は桁の没水面の面積である．図-4の p_3 ， p_4 ， p_5 と F_z の比較から，それぞれの増加開始時刻と最大値の発生時刻は概ね一致していることが分かる．また，桁の下面に流れの剥離に伴う渦が形成されることで p_3 ， p_4 ， p_5 が減少し，それに伴って F_z も減少している．特に， p_4 と F_z は負の値をとっており，負圧の発生によって鉛直下向きの力が桁に作用したことが分かる．以上から，桁下面に作用する圧力の傾向は概ね F_z と一致していると判断できる．ここで，桁下面の圧力の時系列を見ると， p_4 は p_3 ， p_5 と比較して小さいことが分かる．これは， p_4 が桁内部の圧力を測定しているため，直接波が作用せず，空気を介していることによるものである．一方， F_z と F_b を比較すると， F_b は増加開始から1秒ほどは F_z の傾向を捉えているが，その後は F_z が減少を始めたあとも F_b は増加を続け， F_z を大幅に過大評価している．これは， η_4 の上昇途中に F_z が減少に転じたことを示す．ここで， F_z が減少した要因として，上述したように流れの剥離に伴う渦が形成されることで圧力が低下し，桁に鉛直下向きの力が作用する現象が生じたことが考えられる．以上から，桁を設置していない状態での水位変動から求めた浮力による評価では限界があり，桁下面の圧力低下を含めて考慮する必要性が示唆される．

4. おわりに：本研究では，中村ら（2013）の水理模型実験から得られた波力と圧力の時系列変化を対象に，桁へ作用する津波力の特性を考究した．その結果，橋桁に作用する水平波力は抗力で概ね評価できるものの，鉛直波力は桁がない状態での水位変動から求めた浮力による評価では限界があることが明らかになった．今後は，鉛直波力を推定する方法についてさらなる検討を行っていく所存である．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] 土木学会（2013）：津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査委員会報告書．[2] 中村ら（2013）：土論 B3（海洋開発），69（2），335-340．[3] 幸左ら（2010）：構造工学論文集，56A，454-463．

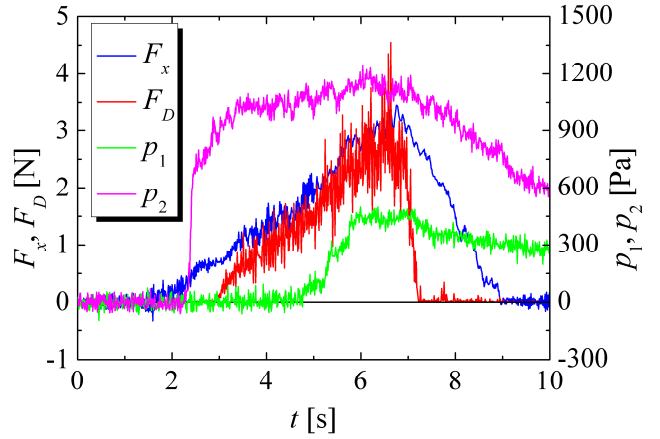


図-3 水平波力と圧力の時系列（ $T=20$ s, $S=106$ cm）

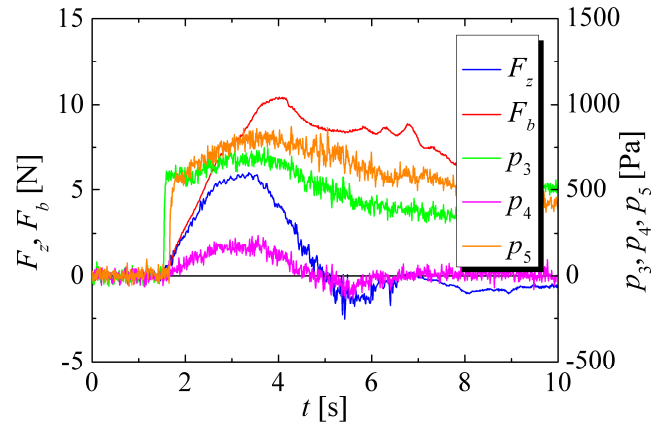


図-4 鉛直波力と圧力の時系列（ $T=20$ s, $S=106$ cm）