

津波による橋桁の流出限界に関する一考察

名古屋大学工学部 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 正会員 水谷 法美

1. はじめに：2011 年 3 月に発生した東日本大震災による津波によって、100 以上の橋桁が流出する被害を受けた。橋に作用する波力とその流出限界については、水理実験や数値計算の面から様々な研究が行われており（例えば庄司ら，2006；嶋原ら，2009），波の形状による違いや桁下高，桁の構造や重量などの影響が検討されている。しかし，これらの研究は砕波前後の波が作用する場合を対象にしたものが多く，東日本大震災時のように水位の上昇に伴って桁が流出する状況を対象にしている例は少ない。また，桁の流出限界を考える際には橋桁に作用する波力を測定することが重要であるが，流出限界時の桁に作用する波力を測定した研究は見受けられない。本研究では，波力を測定するための固定した桁と，桁の移動の有無を確認するための固定していない桁を沿岸方向に並べて設置した水理実験を実施し，桁の流出限界とそれに与える波力の影響を考究する。

2. 水理模型実験の概要：図-1 に実験装置の概略図を示す。同図に示すように，名古屋大学にあるピストン型造波装置を備えた長さ 12.5 m，幅 2.22 m，高さ 1.0 m の造波水槽内に仕切り板を設けて，幅 0.31 m の水路を 3 つ用意した。そして，写真-1 に示すように，その水路の 1 つに桁の移動の有無を確認するための固定していない桁を橋脚の上に設置し，その隣の水路には 3 分力計（日章電気製 LMC-3520-50NWP）と波圧計（共和電業製 PS-05KCM3Z5P）を用いて波力と波圧を測定するための桁を固定した。また，残りの水路には電気容量式水位計（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の計測を行った。桁の概略図を図-2 に示す。同図に示すように，歌津大橋の PC ポステン T 桁を縮尺 1/50 でモデル化した模型を亚克力板により製作した。入射波として，造波板の全振幅 S を 1.24～1.38 m と変化させた押し波初動の長周期波 1 波（周期 $T = 20$ s）を作用させた。また，静水深は桁下高が 0.01 m となるように 0.49 m とした。なお，入射波はいずれも砕波せずに桁に作用することを確認している。

3. 実験結果及び考察：桁の流出が生じた場合と生じなかった場合について，桁に作用した水平方

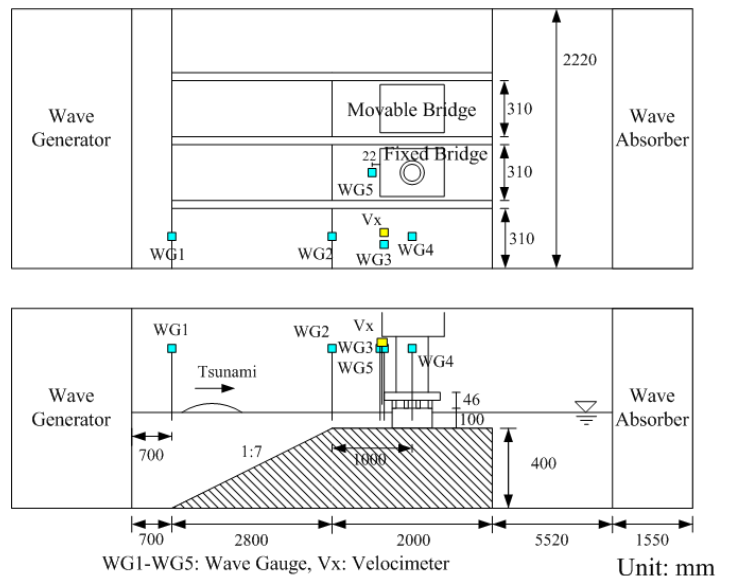


図-1 実験装置の概略図



写真-1 橋桁の設置状況

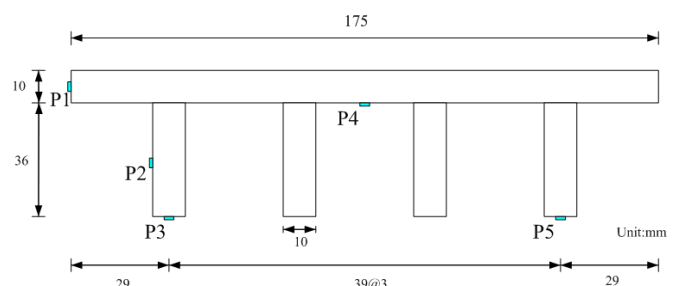


図-2 橋桁の概略図

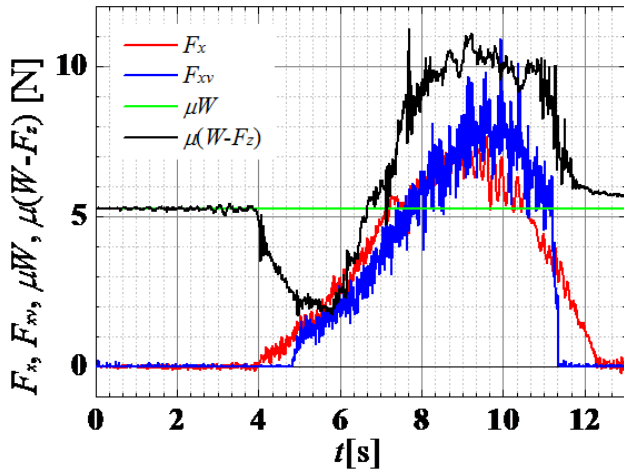


図-3 水平波力と静止摩擦力の比較
($S = 138 \text{ cm}$; 桁流出)

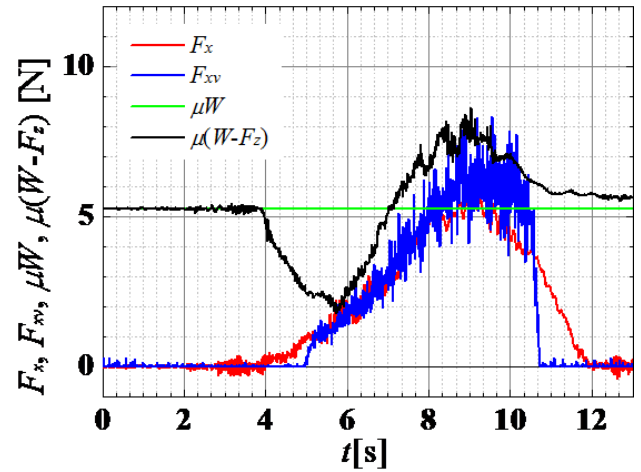


図-4 水平波力と摩擦力の比較
($S = 124 \text{ cm}$; 桁流出せず)

向の波力 F_x と Morison 式によって流速から算出した波力 F_{xy} をそれぞれ図-3 と 4 に示す．ここで， F_{xy} の算出に際しては，抗力項のみを考慮し，抗力係数として道路橋示方書の経験式を用いた幸左ら（2010）に倣った．また，桁の重量を W としたときに μW から求めた静止摩擦力と，鉛直波力 F_z を考慮して $\mu(W-F_z)$ から求めた静止摩擦力も同時に示した．ただし， μ は静止摩擦係数であり，本稿では 0.45 とした．

図-3 と 4 より，津波の作用に伴い水平波力 F_x が徐々に増加し，作用開始から約 5 秒後に最大値となっていることが確認できる．このとき， F_x と F_{xy} の比較より， F_{xy} は最大値が F_x に比べてやや大きいものの，大きな差異は認められず，桁に作用する水平波力 F_x は Morison 式で評価できると言える．

続いて，図-3 と 4 に示した $\mu(W-F_z)$ より， $\mu(W-F_z)$ の減少は F_z の増加を意味していることから，まず桁に上向きの力が作用して F_z が増加したことが分かる．しかし，その後は逆に F_z は減少し始め， F_x が最大になったのとほぼ同時刻に最小になったことが確認できる．そのために，桁に作用する静止摩擦力 $\mu(W-F_z)$ は，まず減少して 6 秒手前で最小となり，その後徐々に増加して 9 秒前後で最大となったことが分かる．ここで， F_x が $\mu(W-F_z)$ を上回ると桁の流出が起こることから， F_x が $\mu(W-F_z)$ を上回った図-3 の場合には，津波の作用開始から 2 秒ほど経過したときに流出が生じたものと推測される．実際に，図-3 に示したケースでは，津波の作用開始から 2 秒弱のところで桁が流出したことを確認している．その一方で， F_x が $\mu(W-F_z)$ を上回る現象が明確に認められない図-4 の場合には，桁に流出は生じなかったことを確認している．最後に，鉛直波力 F_z を考慮していない μW を F_x と比較すると，図-3 と 4 のいずれのケースでも F_x が μW を上回っており，また上回る時刻も桁に流出が生じた時刻よりも遅れていることから， F_z を考慮していない μW では桁の移動を評価できないことが分かる．したがって，桁の移動を評価する際の F_z の考慮の重要性が確認できる．

4. おわりに：本研究では，波力を測定するための固定した桁と，桁の移動の有無を確認するための固定していない桁を沿岸方向に並べて設置した水理実験を実施し，桁の流出限界とそれに与える波力の影響を考究した．その結果，桁の移動を評価する際の鉛直波力の考慮の重要性を，静止摩擦力と水平波力の関係から明らかにした．今後は，波の周期や模型の重量を変化させた実験を行い，流出限界と波力の関係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，財団法人 海洋架橋・橋梁調査会 橋梁技術に関する研究開発助成（研究代表者：中村友昭）と，科学研究費補助金基盤研究(A)（研究代表者：長岡技術科学大学・丸山久一；課題番号：24246079）の補助を受けたことを付記し，謝意を表する．

参考文献：[1] 幸左・二井・庄司・宮原（2010）：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．[2] 嶋原・藤間・幸左・廣岡・二井・庄司・宮島・小野（2009）：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, pp. 311-315．[3] 庄司・森（2006）：桁橋の津波再現実験，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 801-805．