孤立波性状の津波によって橋梁へ作用する水平波力の実験的検討

九州工業大学　学生会員　○田中　将登　　九州工業大学　正会員　幸左　賢二
（株）長大　正会員　佐藤　崇　　大日本コンサルタント（株）　正会員　佐々木　達生

1. はじめに

本実験では段波状の波が橋梁に作用することを想定し，これを模擬した孤立波を作用させた．孤立波の波高をパラメータとしており，水平波力，鉛直波力，波高，流速，圧力の測定を行い，得られた計測結果から津波外力の橋桁に対する作用力特性について検討を行った．本論文では，水平方向の作用力特性の整理とその考察を述べる．

2. 実験概要

実験の全体図を**図-1** に示す．**図-1** 左端の造波装置はスライド式造波装置であり，造波板をスライドさせることによって造波を行った．4 つの流速計と 6 つの波高計，1 つの分力計，5 つの波圧計を水路に沿って設置し，計測開始時間を同期させた．V1 流速計と H6 波高計は，橋桁模型の真横に設置し，5 つの波圧計は，橋桁模型前面の橋長方向に等間隔で 5 つ設置した．

図-2 では，実験状況と実験パラメータを示す．図に示すように，静水深が 35cm で，波高 10，15，20，25cm とした．

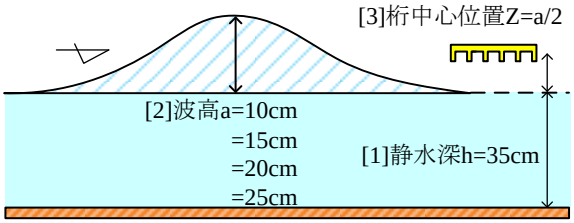


図-2　実験状況とパラメータ

3. 実験結果

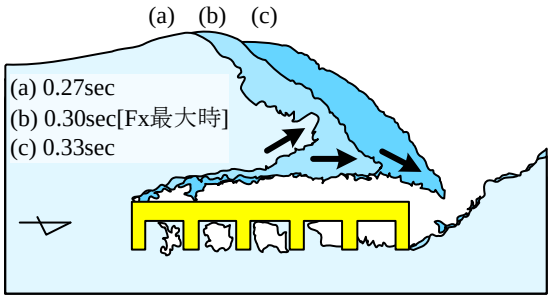
3. 1 津波作用状況

図-3は，波高20cmの津波が橋桁模型に作用した際の波形状を，水槽側面に設置したハイスピードカメラにより撮影した動画からトレースした模式図である．津波が桁下に衝突した時刻を0秒とし，(a)衝突0.27秒後の時刻，(b)水平波力が最大となる時刻，(c)衝突0.33秒後の時刻である．

まず，図中(a)は孤立波が桁模型に衝突した0.27秒後の波形状である．津波が桁模型前面に衝突することで，波の進行が抑えられ，桁模型の右斜め上に越流するとともに，波の先端の方向が右上方向に上がっている．

次に，図中(b)は孤立波が桁模型に衝突した0.30秒後であり，水平波力が最大となる時刻である．津波が桁模型に衝突することで越流した波の先端の方向が，(a)の時刻の波形状と比較すると桁模型真上の位置において水平方向に卓越している．

最後に，図中(c)は孤立波が桁模型に衝突した0.33秒後の波形



(a) 0.27sec，(b) 0.30sec，(c) 0.33sec

図-3　波高 20cm の水平波力作用模式図

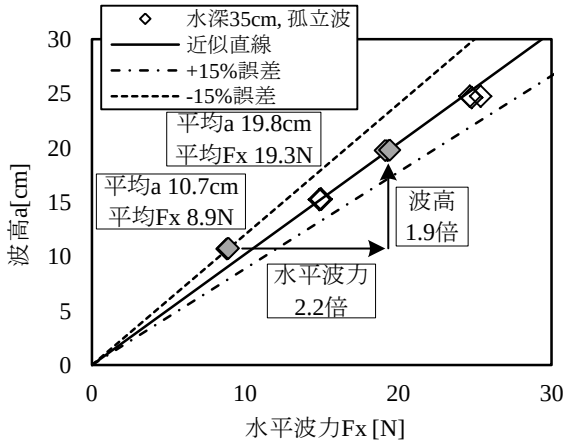


図-4　水平波力と波高の比較図

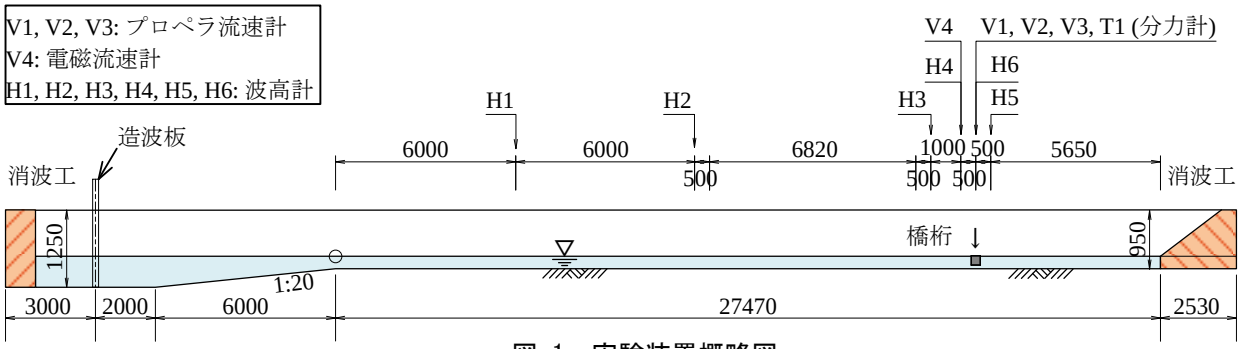


図-1　実験装置概略図

状である．(b)の時刻の波形状と比較して，波の先端が桁模型右下方向に下がっている．この越流した波の先端の移動方向は，水平波力が最大となるときは，桁模型の上を通過する波は水平方向に卓越する．

3．2 水平波力と波高の関係

図-4 は，各ケースの H6 波高計から得られた波高に対する桁に作用する水平波力をプロットした図である．波高ごとに 3 回分のデータとその近似直線を示す．図には，近似直線の 15%誤差も示している．図より，波高と水平波力の関係はおおよそ比例関係にあることが確認できる．ここで，代表例として，波高 10cm と 20cm のケースに着目して，考察を行う．

まず，図-4 において，波高 10cm と 20cm では波高の増分が 1.9 倍であるのに対して水平波力の増分は 2.2 倍となる．図-5 は，桁前面に設置した 5 つの波圧計の平均値が最大となるときの波圧分布であり，橋長方向に波圧はほぼ等しく作用している．図-6 には，波高 10cm と波高 20cm それぞれのケースにおける桁模型前面に設置した 5 つの波圧計の平均波圧に前面積 A(136cm^2)をかけて算出した算出水平波力の時刻歴波形と，水平波力の時刻歴波形を示す．図中より，波高 20cm のケースでは，水平波力と算出水平波力の時刻歴波形は，立ち上がりから，最大を示す時刻がほぼ等しい．算出水平波力の最大値は 15.1N 発生しているのに対して，最大水平波力 19.1N と 2 割程度差が生じているが，これは，桁背面の負圧等による影響を前面の波圧計ではとらえていないことが要因として考えられる．同様に，波高 10cm のケースについても，同じことがいえる．また，波高が 1.9 倍増加し，水平波力の最大値が 2.2 倍増加するのに対して，前面に設置されている波圧の値は 2.1 倍増加していることから，水平波力は桁前面に作用する波圧に支配されており，津波の波高に比例して波圧が変化すると考えられる．

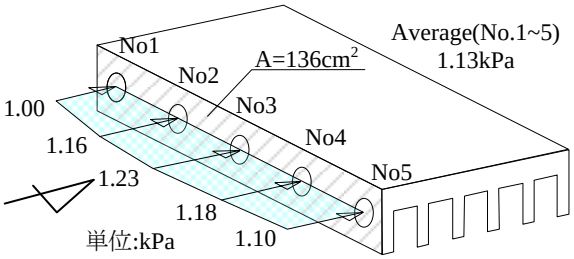


図-5　波圧分布（平均波圧最大時）

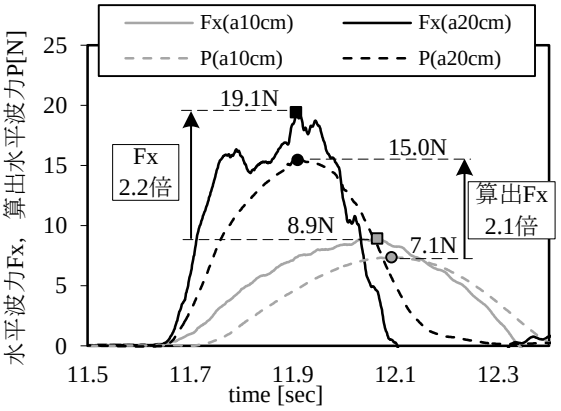


図-6　Fx，算出 Fx 時刻歴波形（a10cm，20cm）

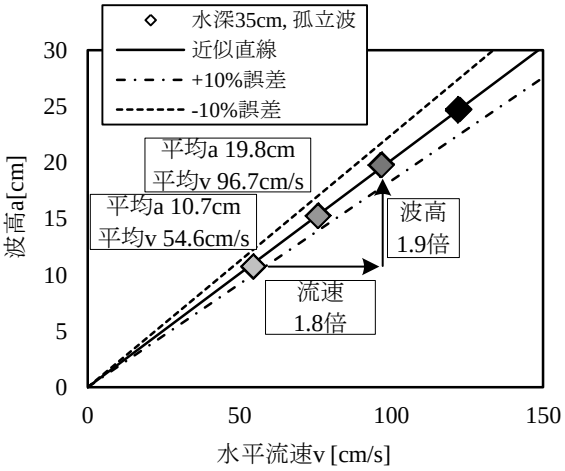


図-7　水平流速と波高の比較図

3．3 水平流速と波高の関係

図-7 は，各ケースの H6 波高計から得られた最大波高に対する桁模型の横に設置した V1 流速計から得られた最大流速をプロットした図である．また，波高と流速の最大値の発生時刻はおおよそ同時刻であることを確認している．併せて近似直線と 10%誤差も示している．図中に示すように，上記と同様に波高が高くなれば，それに比例して流速も大きくなっていることがわかる．また，すべてのプロットした点が 10%誤差以内であり，水平流速と波高の相関は極めて高いといえる．

4．まとめ

(1) 桁模型に作用する水平波力最大時の波形状は，桁模型前面に垂直に作用しており，また，桁模型前面に設置した波圧計から算出した算出水平波力と分力計から得られた水平波力がおおよそ等しいことより，水平波力は桁模型前面に作用する力に支配された状態で最大を示す．

(2) 波高を 10cm から 25cm にパラメータとした 4 つの実験結果から，桁模型に作用する津波の波高と水平波力は比例関係にあることが分かり，水平波力に影響を及ぼす波圧および流速も同様に波高に比例していることから，水平波力は津波の波高と桁前面積で評価が可能であると考えられる．