

PIV 計測を用いた孤立波によってコンクリート桁に作用する水平作用力の評価

九州工業大学 学生会員 ○新保 敦士
大日本コンサルタント (株) 正会員 佐々木 達生

九州工業大学 正会員 幸左 賢二
(株) 長大 正会員 佐藤 崇

1. はじめに

本実験では段波が橋梁に作用することを想定し、段波波頭の急勾配な水面形を模擬した孤立波を桁模型に作用させ、波高、水平作用力の結果を示すとともに、水平作用力が発生する要因を明らかにすることを目的として、PIV 計測を行った。具体的には、水平作用力発生時における桁周辺の流速と水平作用力の関係性について検討した。

2. 実験概要

実験の全体図を図-1 に示す。左端の造波装置はスライド式造波装置である。桁に作用する津波波高を計測するため、H6 波高計を桁模型の真横に設置した。図-2 に実験条件を示す。同図より、孤立波性状の津波を空中に設置した桁模型に作用させた。著者らは孤立波に対して、砕波の有無、波高、桁形状、桁中心位置をパラメータとした実験を行っている。そのうち、代表ケースとする砕波無、波高 20(cm)、桁中心位置 10(cm)、静水深 35(cm)、海底床無のケースを対象に分析を行った。

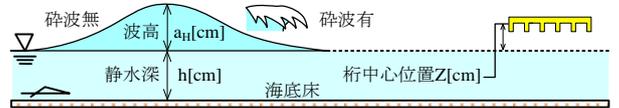
3. 実験結果

3.1 波高と水平作用力の関係

図-3 に分力計で計測した水平作用力と H6 波高計の時刻歴波形を示す。同図より、水平作用力は津波が桁模型に作用してから約 0.30s 後の 12.652(sec) に最大値 20.2(N) を示し、H6 波高は 12.722(sec) で最大となる。両者の最大発生時刻には 0.07(sec) の差があるものの、概ね同時刻で最大を迎えることがわかる。

3.2 PIV 計測方法

図-4 に PIV 計測の概要を示す。同図より、水路の流れ場には水粒子と同程度の大きさの微小粒子を混入させており、レーザーを照射して 3次元空間に分布している粒子を 2次元断面に投影させ、反射板により桁模型の下側までレーザーを照射させた。この 2次元断面内で桁周辺の粒子の様子を高速カメラで撮影した。また、3次元空間に分布する粒子を投影する際、3次元的



| 砕波 | a_H | Z | h | 桁形状 | 海底床 | ケース数 |
|----|----------------|--------------|--------------|------------------------|-----|------|
| 有 | 7.8, 12 | +4.8 | 5 | 標準形状 | 有 | 3 |
| | 10 | +4.8, -4~+8 | | | | 14 |
| | 11, 18, 23, 28 | +4.8 | 4 | | | |
| | 25 | +4.8, -4~+18 | 24 | | | |
| | 無 | 11 | +4.8, -4~+10 | | | 15 |
| 砕波 | a_H | Z/ a_H | h | 桁形状(桁高D, 桁幅B) | 海底床 | ケース数 |
| 無 | 5.7, 5.10 | 0.5 | 15 | 標準, 張出, 1.5D | 無 | 21 |
| | 10, 15, 25 | | 35 | 2.0D, 1.4B, 1.8B, 2.1B | | 21 |
| | 20 | 0.1, 0.9 | 標準形状 | 7 | | |
| 有 | 10 | 0.5 | 15 | 標準, 張出, 1.5D | 無 | 2 |
| | 20 | | 35 | 2.0D, 1.4B, 1.8B, 2.1B | | 7 |

図-2 実験条件

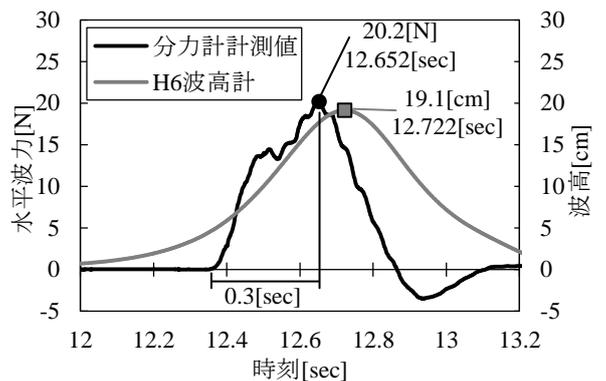


図-3 波高と水平作用力の関係

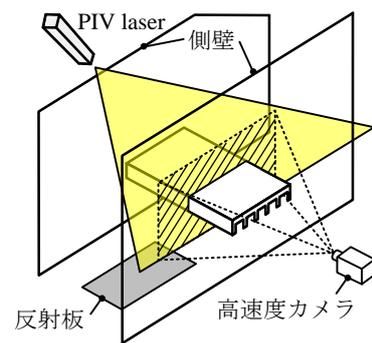


図-4 PIV 計測の概要

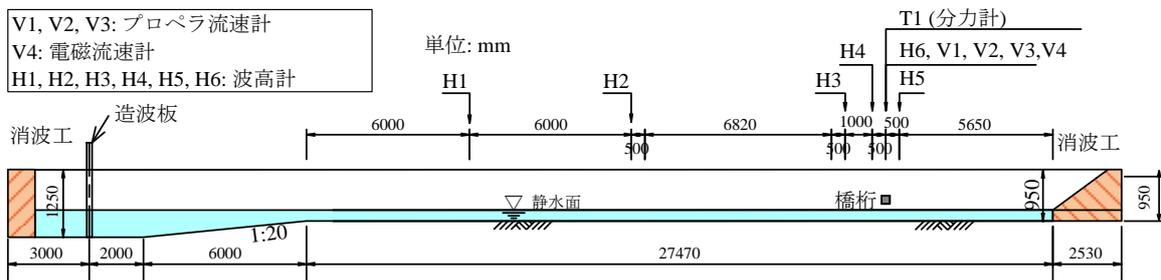


図-1 実験全体図

な波の乱れを排除するために、桁模型の両端に側壁を設けた。

図-5 に流速ベクトルの算出方法を示す。同図より、高速度カメラで連続して撮影された画像から、微小な範囲の領域(検査領域)と、粒子の移動先を探し出す領域(探査領域)を設定する。この領域内で微小時間における粒子の変位ベクトルから流速ベクトルを算出する。

3. 3 PIV 計測結果

図-6 の (a) に桁前面浸水時と水平作用力最大時の孤立波の作用位置と桁前面から 0.5(cm)の位置での波面から静水面までの水平流速分布、(b) と (c) にそれぞれ桁前面浸水時、水平作用力最大時の流速ベクトル図を示す。同図 (a) より、(b) の位置の流速分布の平均値 V_b は 25(cm/s)、(c) の位置の流速分布の平均値 V_c は 72(cm/s)となる。なお、(c) では桁前面位置の波高が概ね最大となる。よって、波高の増加により流速も増加することがわかる。また、同図 (b) では流速ベクトルが斜め上方向に、同図 (c) では流速ベクトルが水平方向に卓越する。

図-7 に桁前面の中央部で計測した水平方向の流速の時刻歴波形を示す。同図より、[1]10.8(cm)と[2]4.7(cm)の点の流速は、最大値がほぼ同値で約 72(cm/s)であるが、[3]1.7(cm)の点からは流速が減少し、桁前面近傍ではほぼ 0(cm/s)になることがわかる。また、水平作用力最大時[12.652(sec)]付近で、流速の波形も概ね最大となることが分かる。

図-8 に、図-7 の[4]0.5(cm)の点で計測した流速ベクトルの角度 θ を $\cos\theta$ に変換し、[2]4.7(cm)の点の水平方向と鉛直方向の合成流速に乗じて算出した流速と水平作用力の時刻歴波形を示す。なお、4.2(cm)の分だけ流速の発生時刻を補正し $\cos\theta$ を乗じた。同図より、 $\cos\theta$ を乗じた流速の増加に伴い、水平作用力が増加し、ベクトルが鉛直方向から水平方向へ変化することがわかる。(b) 桁下面浸水時の合成流速は 56.9(cm/s)、角度は 86° で、(c) 水平作用力最大時の合成流速は 77.9(cm/s)、角度は 15° となる。

4. まとめ

- (1) 本実験における孤立波の水平流速分布は、波高の増加に伴いほぼ一様に増加し、桁前面の流速に着目すると、桁前面に近づくにつれ徐々に流速が減少し、桁前面近傍ではほぼ 0(cm/s)となる。
- (2) 桁前面の流速とベクトルに着目して水平作用力との関係を分析した結果、桁前面の流速の増加とベクトル方向の変化に伴い水平作用力が増加することが明らかとなった。また、桁前面での波高が概ね最大の時、流速が最大で水平方向への流れが卓越し、水平作用力も最大となる。

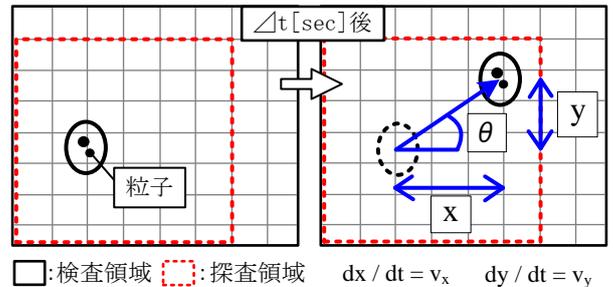
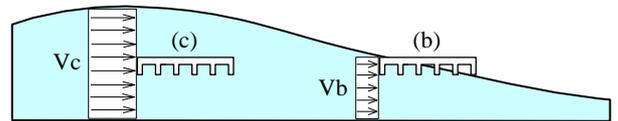
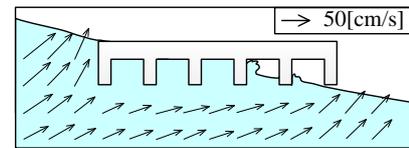


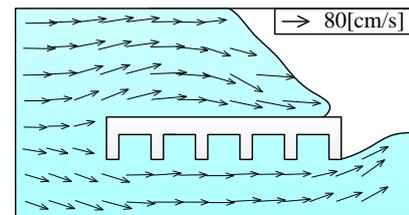
図-5 流速ベクトルの算出方法



(a) 孤立波の作用位置と水平流速分布



(b) 桁前面浸水時



(c) 水平作用力最大時

図-6 各時刻における作用状況図

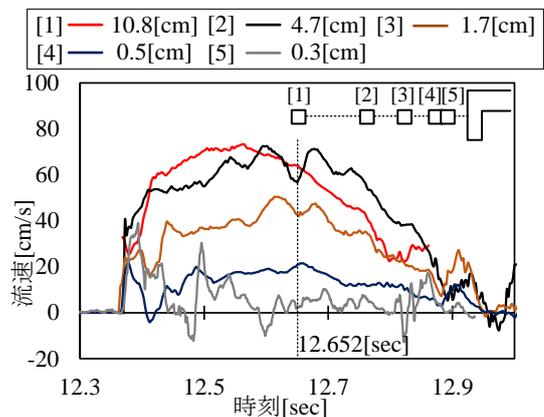


図-7 桁前面の水平流速の時刻歴波形

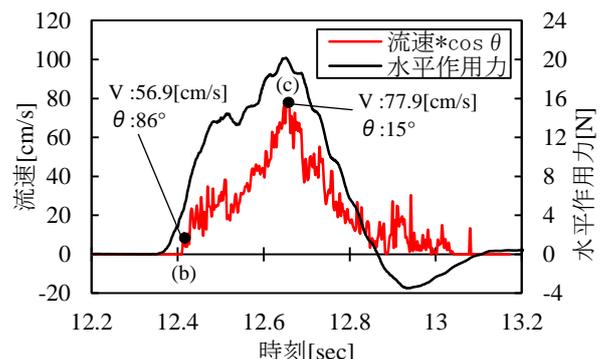


図-8 $\cos\theta$ を乗じた流速の時刻歴波形