

ソリトン分裂が進行した河川遡上津波の可視化計測について

東北工業大学 学生会員 ○ 鈴木己伯
東北工業大学 正会員 菅原景一・高橋敏彦

1 はじめに

1983 年日本海中部地震、2011 年東北地方太平洋沖地震などでソリトン分裂した河川遡上津波が観測された。河川遡上津波についての現地調査や、数値解析結果に基づく検討は行われているが、水理実験に基づく検討はあまり行われていない。そこで本研究では実験水路を用いて河川遡上津波を発生させ、そこに生じる流れ場を PIV 可視化計測することで視覚的に捉える事を目的とした。

2 研究の概要

実験は図 1 に示した長さ 10m 幅 0.6m で河床勾配を 1/1000 に設定した勾配可変型水路を用いた。遡上津波の発生は下流に設置した真空ポンプ式造波装置を用い、実験条件となる水深まで水を引き上げ、造波装置上部の蓋を急開することにより行った。また、撮影地点は基準の 0m 地点から 4m 上流側の地点とし、図 2 のように透明なアクリル製の水路床と鏡を設置して、レーザー光を鉛直に反射させ、ハイスピードカメラで水路側面から鉛直縦断面を撮影時間間隔 1/1000 で 10 秒間（1000 フレーム）撮影した。^{1) 2)} 流れ場の条件は表 1 の通りである。

3 結果と考察

3-1 遡上津波の河川上流側へ及ぼす影響

図 3 に遡上津波の波峰頂部との距離と河川上流側における流速の関係を示した。同図によると、全体的な傾向として河川の流速は、遡上津波が接近するにしたがって低減する傾向にあり、条件によっては一時的に上流に向かって流れるようになることが確認できる。また各条件の比較を行うと、水深が低く流速が速い $h=0.04\text{m}$, $V=0.3\text{m/s}$ の場合は 0.15m の地点に波峰頂部が来たときから河川流速の低減が始まるが、水深が高く流速が遅い $h=0.08\text{m}$, $V=0.075\text{m/s}$ の場合では流速計測地点から最も遠い 0.24m 地点で既に遡上津波の影響を受け、流れ方向が逆向きとなった。従って、河川の水深が大きく、初期流速が小さい時ほど遠くから遡上津波の影響が生じ、流速は小さくなる傾向にあることがわかる。

3-2 津波のピークと鉛直上向きの流動との距離

PIV 解析の結果、遡上津波には波のピークと、上向きの流動が生じる位置がずれていることが判明した。またその距離は水深や流速の影響で変化することが分かった。図 4、図 5 は $h=0.04\text{m}$ と $h=0.08\text{m}$ におけるソリトン分裂第 1 波 (a) と第 2 波 (b) の解析結果をベクトル図として撮影した画像を示したものである。 $h=0.04\text{m}$ の第 1 波を示した図 4 (a) では波峰頂部のすぐ前面に鉛直上向きベクトルが確認できるのに対して、同図 (b) では 0.016m ほど上流側に移動していることが確認できる。一方、図 5 に示した $h=0.08\text{m}$ の結果では、同図 (a) に示した第 1 波でも鉛直上向きの流動の位置が約 0.1m 上流側にあり、第 2 波 (b) では鉛直上向きの流動は確認できなくなっている。また、図 4 (a) では、波峰頂部の河床付近に反時計回りの渦が確認できた。これは水深が小さく、河川の流速が大きい流れ場への津波遡上の特徴であると考えられる。

キーワード：河川遡上津波、PIV 可視化計測、水理実験

連絡先：〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町35-1 東北工業大学都市マネジメント学科 TEL：022-305-3555

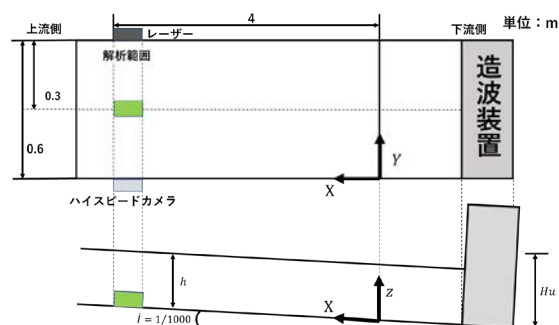


図1 水路実験の模式図

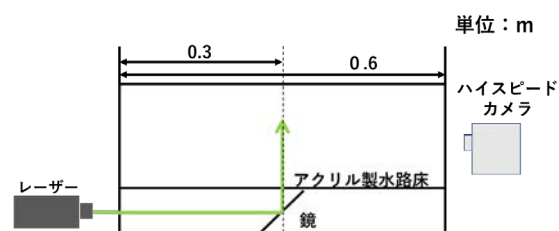


図2 撮影範囲の水路横断面

表1 実験条件

水深: $h(\text{m})$	0.04/0.06/0.08
貯留水深: $H_u(\text{m})$	0.1
流速: $V(\text{m/s})$	0.3/0.15/0.075

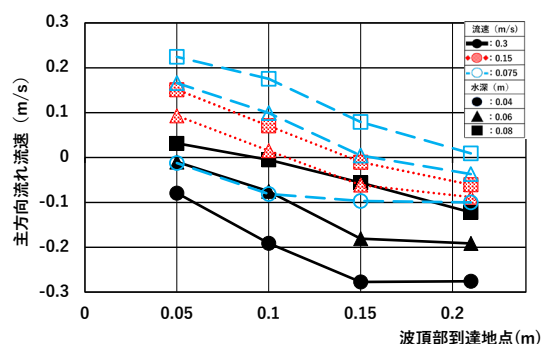


図3 遡上津波の及ぼす上流側の流速変化

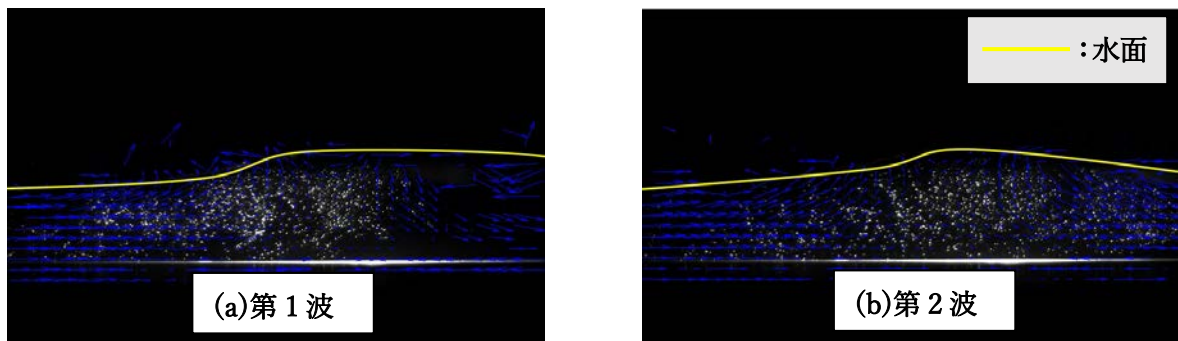
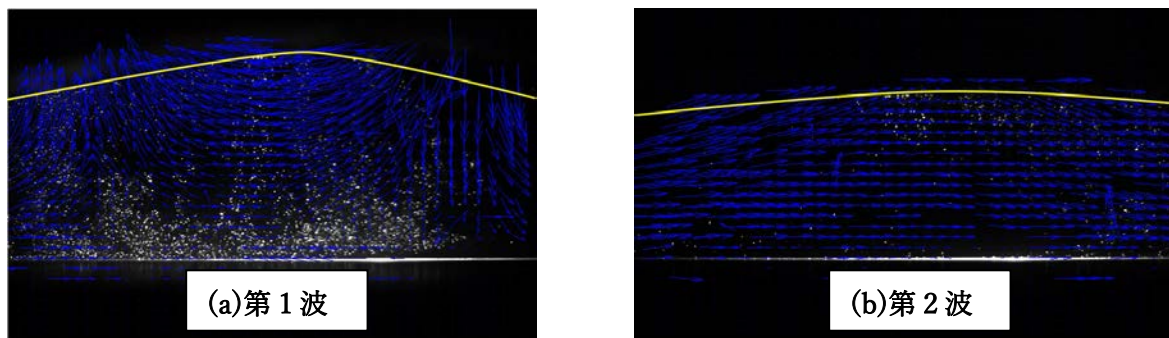

図4 遡上津波のベクトル図 ($h=0.04, V=0.3\text{m/s}, Hu=0.1\text{m}$)

図5 遡上津波のベクトル図 ($h=0.08\text{m}, V=0.3\text{m/s}, Hu=0.1\text{m}$)

図6にソリトン分裂の各波頂部と上向き流動との距離の関係を示した。同図によると、各波の頂点と上向き流動との距離の変化は初期水深によって区別されることがわかる。即ち初期水深が比較的大きい $h=0.08\text{m}$ の場合と $h=0.06\text{m}$ で $V=0.3\text{m/s}$ の場合には、分裂第1波、第2波と進むにしたがって、間隔が狭くなっている。また、初期水深が比較的小さい場合には、流速が小さいほど間隔は広くなることが確認できた。ここで $h=0.08\text{m}, V=0.3\text{m/s}$ と $h=0.04\text{m}, V=0.075\text{m/s}$ の場合に鉛直上向きの流動が確認

できなかったため、分裂第2波における間隔が計測されていない。その原因は以下の通りである。まず、 $h=0.08\text{m}, V=0.3\text{m/s}$ の場合は、河川流が強いため鉛直上向きになる前に主流側に引き戻されてしまうためである。逆に、 $h=0.04\text{m}, V=0.075\text{m/s}$ の場合は波のエネルギーが強く完全に上流に向かう流れになってしまうためである。

4 おわりに

本研究では、河川遡上津波を実験水路で再現し、PIV解析によって可視化することで流動を視覚的に捉えその特徴の把握を試みた。その結果以下のことを確認した。

- 河川の水深が大きく、初期水深が小さいときほど遠くから遡上津波の影響が生じ、流速は小さくなる傾向にあること
- 遡上津波には波のピークと、上向きの流動が生じる位置がずれていることが判明した。またその距離は水深や流速の影響で変化すること
- ソリトン分裂各波の頂部と上向き流動との距離の変化は初期水深によって区別され、初期水深が比較的大きい場合には、分裂波第1波、第2波と進むに従って間隔が狭くなり、初期水深が比較的小さい場合には、流速が小さいほど間隔は広くなる。

参考文献

- 宮本恭交、長尾昌朋、新井信一、上岡充男：孤立波砕波の水面形と流速分布の可視化計測、海岸工学論文集、第46巻、土木学会、131-134
- Min ROH, Mohammad Bagus ADITYAWAN and Hitoshi TANAKA :Measurement of The Velocity for Tsunami Wave Propagation, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B3, Vol.68No. 2, I_72-I_77, 2012

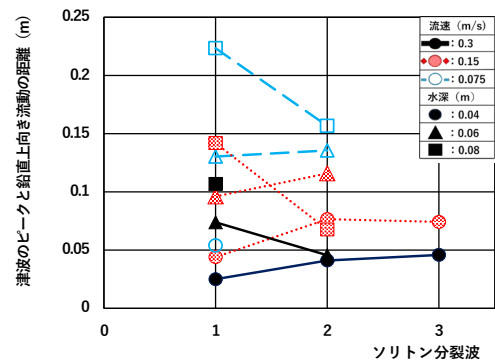


図6 ソリトン分裂波と上向きの流動の距離