

可視化計測を用いた河川遡上津波のソリトン分裂の発達に関する一考察

東北工業大学 学生会員 ○ 進藤世名
 東北工業大学 正会員 菅原景一・高橋敏彦

1 はじめに

2011年東日本大震災時に発生した河川遡上津波が、堤防越流や破堤氾濫を起こすことで沿岸から離れた地域にも大きな被害を引き起こした。¹⁾河川遡上津波では、孤立した波が伝播する過程で複数の波に分裂するソリトン分裂という現象が発生し、ソリトン分裂が発達すると一時的に波高や流速が増加することが確認されている。本研究では、実験水路に河川遡上津波を再現し、PIVによる可視化計測からソリトン分裂の発達の特性を見出すことを目的とした。

2 実験の概要

実験は図1に示した長さ10m、幅0.6m、河床勾配を1/1000に設定した勾配可変型水路で行った。河川遡上津波は、下流側に設置した真空ポンプ式造波装置に、所定の条件まで水を引き上げ装置上部の蓋を急開させ、水を放出することで発生させた。造波装置は周期が短い波を発生させるL04と、周期が長い波を発生させるL08の2種類を使用した。また、可視化のための画像撮影地点は、下流0m地点から上流側4mの地点に設定した。可視化については、水路床にアクリル板と内部に反射鏡を設置し、レーザーを鉛直に反射させ、水路側面からハイスピードカメラを用いて撮影した。撮影時間間隔は1/50で10秒間（500フレーム）撮影した。実験条件は表1の通りである。^{2),3)}

3 結果と考察

(1) 分裂度と最大波高比の関係

図2は分裂度とNo.3.4地点のソリトン分裂波の最大波高比の関係を示している。分裂度は第一波峰高さ η_{max} 、それに続く谷の高さを η_t とし、 $X = (\eta_{max} - \eta_t) / \eta_{max}$ から求めた。⁴⁾波高比はNo.3, 4地点の最大波高 η_x を初期波高 η_0 で除した値を使用した。同図によると、分裂度が1に近づくと、最大波高が徐々に上がってきていることが分かる、このことからソリトン分裂波が発達すると最大波高が大きくなることが分かる、さらに、分裂度が0.8を超えると波高比が1を超えるものもあり、ソリトン分裂の発達により初期波よりも波高が増大する可能性があることが分かる。

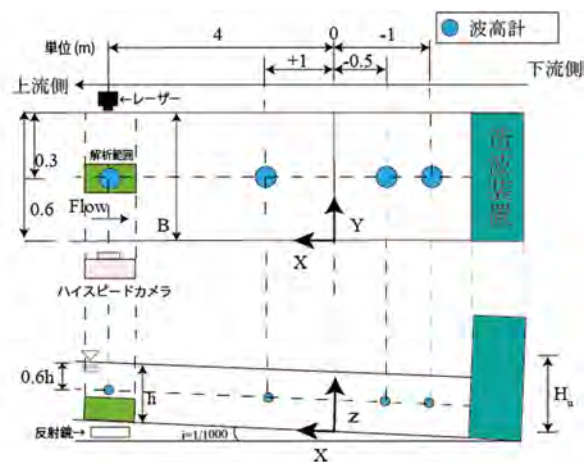


図1 水路実験の模式図

表1 実験条件

貯留水深：Hu(m)	0.1/0.2/0.3
初期水深：h ₀ (m)	0.04/0.06/0.08/0.12/0.16
流速：v(m/s)	0.075/0.15/0.3
造波装置	L04…周期が短い L08…周期が長い

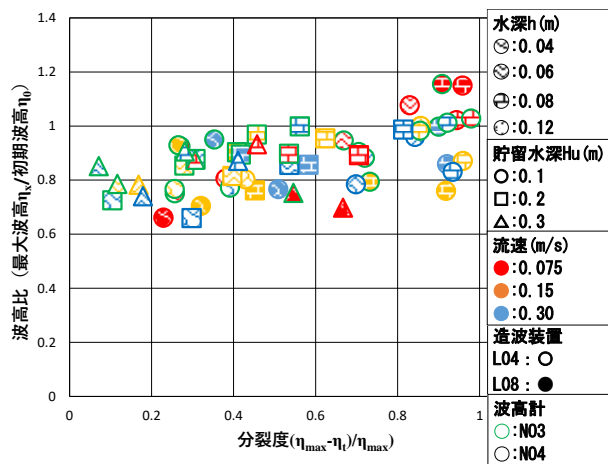


図2 分裂度とNo.3.4地点の最大波高比

キーワード：河川遡上津波 ソリトン分裂 PIV 可視化計測 相対水深 分裂度

連絡先：〒982-8577 宮城県仙台市太白区香澄町 35-1 東北工業大学都市マネジメント学科 TEL：022-305-3550

(2) 距離 d_p と波形勾配の関係

図3はソリトン分裂波第一波の波峰頂部から鉛直上向き流動までの距離 d_p と波形勾配の関係を示したものである。波形勾配は、No.4 地点のソリトン分裂波の最大波高 η_{max} を初期波長 l_0 で除した値を使用した。図の縦軸は距離 d_p を初期波長 l_0 で無次元化している。同図から、距離 d_p は波形勾配が大きいほど長くなっている。即ち、波が切り立っているほど距離 d_p が長くなる傾向にある。

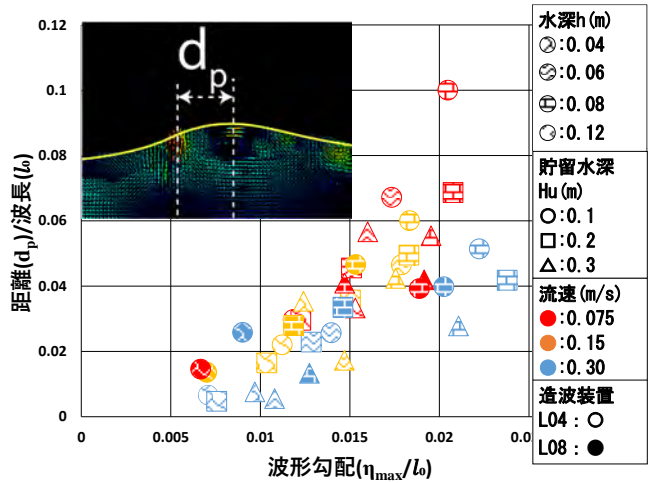


図 3 波形勾配と距離 d_p の関係

(3) 距離 d_p と相対水深の関係

図4は鉛直上向き流動までの距離 d_p と相対水深の関係を表している。相対水深は、初期水深 h_0 を初期波長 l_0 で除した値を使用した。一般に、波の伝播は水深が大きくなるほど速くなるが、距離 d_p についても相対水深の増加に伴って波長の一割程度まで長くなっていることが同図から確認できる。

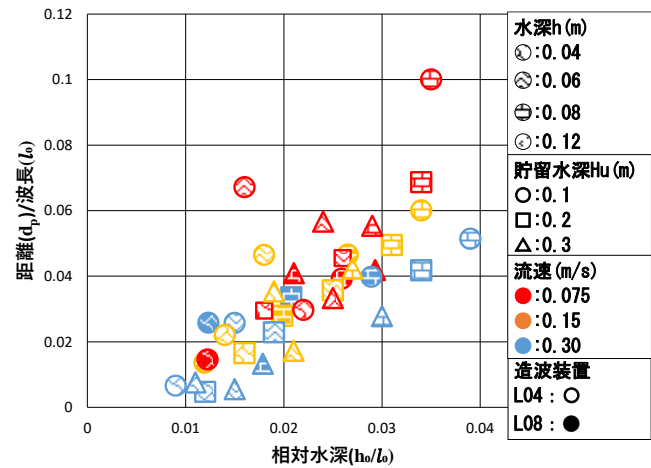


図 4 相対水深と距離 d_p の関係

(4) 距離 d_p の差と分裂度の関係

図5は、ソリトン分裂第一波に対する距離 d_p と、ソリトン分裂第三波に対する距離 d_p の差と分裂度の関係を示した。尚、確認できた分裂波が二波までの場合は第一波と第二波の差を表示している。同図によると、分裂度が1に近づくと距離の差が正の値になっている。即ち、分裂第一波の d_p に対して分裂第二波、第三波の d_p が短くなっていることが分かった。

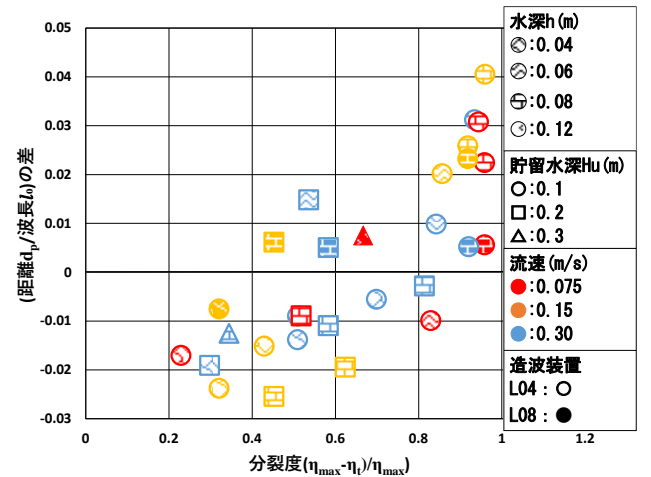


図 5 距離 d_p の差と分裂度の関係

4 まとめ

本研究では、水理実験でソリトン分裂した河川遡上津波を再現し、それを可視化計測することで、分裂波内の流動を視覚的に捉え、ソリトン分裂波発達の特徴の把握を試みた。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1)ソリトン分裂が発達する(分裂度が0.8を超える)と最大波高が初期波高よりも増大することがある。
- 2)距離 d_p は波形勾配と相対水深の増加に伴って増加する。
- 3)発達したソリトン分裂波では、ソリトン分裂第一波の d_p に対して第二波、第三波の d_p が短くなっている。

参考文献

- 1)松井大生、内田龍彦、福岡捷二(2016)：北上川における津波の河川遡上津波氾濫流解析から導かれる現地観測データの解釈、土木学会論文集 B1 (水工学) 72 巻 4 号 p. I_415-I_420
- 2)佐藤ら(2022)：河川遡上津波の可視化計測に基づく伝播特性に関する検討、令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会,II-36
- 3)巖岩ら(2022)：河川遡上津波のソリトン分裂の発達に関する実験的検討、令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会,II-38
- 4)青田ら(2014)：ソリトン分裂の分裂変形過程と消波工の津波低減効果、沿岸技術センター論文集, No.14