

河川遡上津波のソリトン分裂とえり分け距離に関する一考察

東北工業大学 学生会員 ○ 岩井 涼太

東北工業大学 正会員 菅原景一・高橋敏彦

1. はじめに

河川遡上津波はソリトン分裂を起こして波高や波力が増大し、河川構造物に多大な被害を与えることがある。2011年東北地方太平洋沖地震では砂押川でこの現象が確認され、危険性が強く認識されている。

そこで、本研究では河川遡上津波の伝播に伴うソリトン分裂の発達度を推定する指標について、これまで著者らが逆流場の影響を取り込む方策として提案している仮想伝播距離^{2),3)}に加えて、相対伝播距離（伝播距離/えり分け距離）の計算に用いるえり分け距離（波長 l /波高 η ） \times 水深 h ）の算定について考察することを目的とした。えり分け距離とは Hammack¹⁾が、初期波が完全にソリトンに分裂するまでの水平距離として定義した。

2. 実験方法及び実験条件

図1に流れ場の模式図を示した。実験では勾配可変型水路を用い、全長10m、幅0.6m、水路床勾配1/1000とし、造波装置は水路の下流側に設置した。使用した造波装置は2種類（ L_{04} 、 L_{08} ）で、周期の異なる2種類の波を発生させた。津波は真空ポンプで造波装置内に水を所定の高さ（貯留水深 H_u ）まで引き上げ装置上部の蓋を急開することで発生させた。波高計、流速計の位置は図1に示した通りで、波高計は下流側からNO.1,2,3,4の順番に設置している。実験は表1に示した4種類の初期水深に対して流速と貯留水深をそれぞれ3種類ずつの36ケースを、上記の2種類の造波装置を用いて合計72ケース実施した。なお、再現性を確認するために1ケースにつき3回ずつ計測を行った。

3. 結果と考察

(1) 波形勾配と相対水深の関係

図2に波形勾配と相対水深の関係を示した。相対水深は初期水深 h_0 を各地点における波長 l_x で除した値で表した。波形勾配の値は波高計 NO.1、2、3 の3地点で計測したデータを使用した。同図から相対水深の値が増加するとそれに伴い波形勾配の値も増加している。流速に注目するとその値が小さいほど波形勾配と相対水深の値が大きくなる傾向がある。また、波形勾配と相対水深は1:1の関係を保ちつつ伝播に伴って小さくなる傾向がある。

(2) 伝播距離と波形勾配の関係

波形勾配の変化は水深に依存していることが確認されたので、初期水深別に伝播距離と波形勾配の関係を整理した（図3）。同図から波形勾配はいずれの水深においても伝播に伴って減少していることが確認できる。

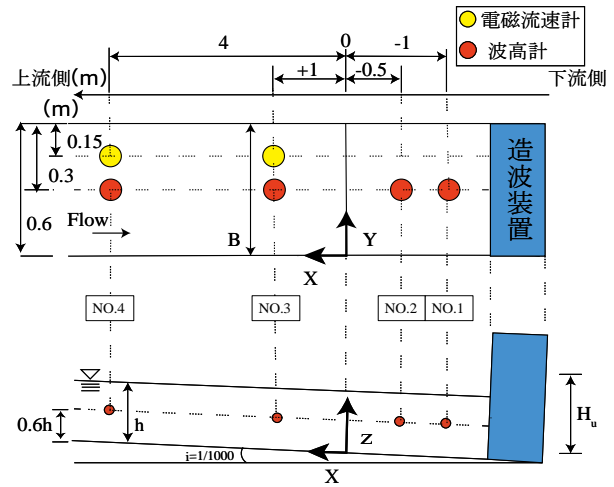


図1 流れ場の模式図

表1 実験条件

貯留水深 H_u (m)	0.1, 0.2, 0.3
初期水深 h (m)	0.04, 0.06, 0.08, 0.12
流速 v (m/s)	0.075, 0.15, 0.3
造波装置	L_{04} …短い周期の波 L_{08} …長い周期の波

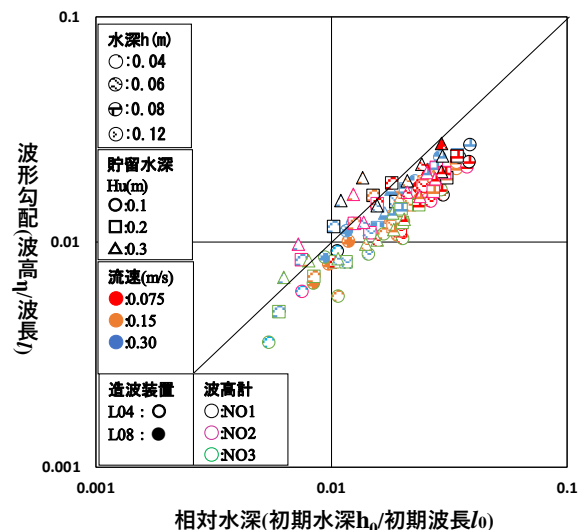


図2 相対水深と波形勾配の関係

キーワード：河川遡上津波、ソリトン分裂、分裂度、相対水深、相対波高、えり分け距離

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 TEL022-305-3550

そこで伝播に伴う波形勾配変化を推定するため式(1)の形式で近似式を求めた。

$$\lambda_x = \lambda_0 \cdot e^{-a \cdot x} \quad (1)$$

ここに、 λ_x ：任意地点の波形勾配、 λ_0 ：初期波形勾配、 x ：伝播距離、 a ：水深ごとに求めた係数であり、初期水深が小さい順に、0.311($h=0.04$)、0.273($h=0.06$ m)、0.197($h=0.08$ m)、0.061($h=0.12$ m)となった。

(3) 波形勾配の推定結果

図4に式(1)を用いてNo.2、3地点の波形勾配を推定した波形勾配と計測結果を示した。推定値と計測値の相関係数はそれぞれ 0.945($h=0.04$ m)、0.963($h=0.06$ m)、0.903($h=0.08$ m)、0.832 ($h=0.12$ m)であり、全体が 0.875 で上記推定値と近い値になっていることから良好な推定結果を示している。

(4) 相対仮想伝播距離と分裂度の関係

図5はえり分け距離の計算に上記の推定波形勾配を用いて求めたえり分け距離で仮想伝播距離²⁾を無次元化した相対仮想伝播距離と分裂度の関係を示したものである。分裂度は第一波峰高さを η_{max} 、その後の谷の高さを η_t とし式(2)から求めた。⁴⁾

$$\chi = (\eta_{max} - \eta_t) / \eta_{max} \quad (2)$$

えり分け距離は初期波が完全にソリトン分裂するまでの水平距離であることを考慮すると、相対伝播距離1が分裂度1に対応する。同図では相対仮想伝播距離の増加に伴って分裂度も高くなる傾向が確認できる。この傾向は青田らの結果とも一致している。

まとめ

本研究では、河川遡上津波の伝播に伴うソリトン分裂の発達度を推定する指標について、仮想伝播距離を導入し、えり分け距離の算定について分裂度を評価する地点の波形勾配を用いることを提案し、水理実験データを用いて本検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1)逆流場を伝播する津波は、伝播に伴って波形勾配が小さくなる。
- 2)初期水深の値が大きいと波形勾配の値も大きくなり波形勾配は相対水深に依存している。
- 3)伝播に伴う分裂度の変化は分裂度を評価する地点での波形勾配を用いて求めた相対仮想伝播距離との関係で整理する必要がある。

参考文献

- 1) J.L.Hammack and H.Segur (1974) : The Korteweg-de Vries equation and water waves. Part 2. J. Fluid Mech. (1974), vol. 65, part 2, pp. 289-314
- 2) 齋藤ら(2021) : 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2年度土木学会東北支部技術研究発表会,II-83
- 3) 巖ら(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) : ソリトン分裂津波の分裂変形過程と消波工の津波力低減効果, 沿岸技術研究センター論文集, No.14,pp.1-4

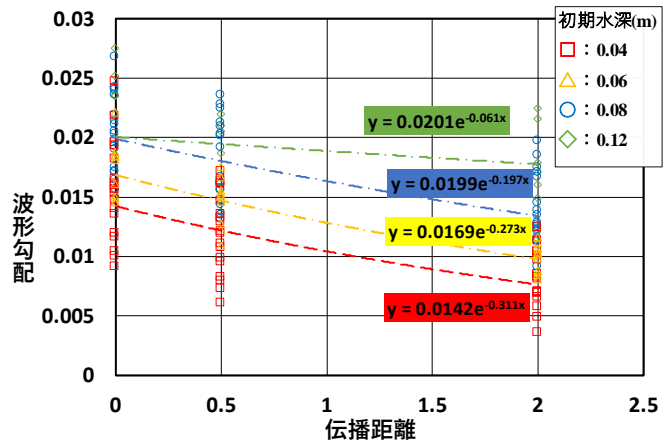


図3 伝播距離と波形勾配の関係

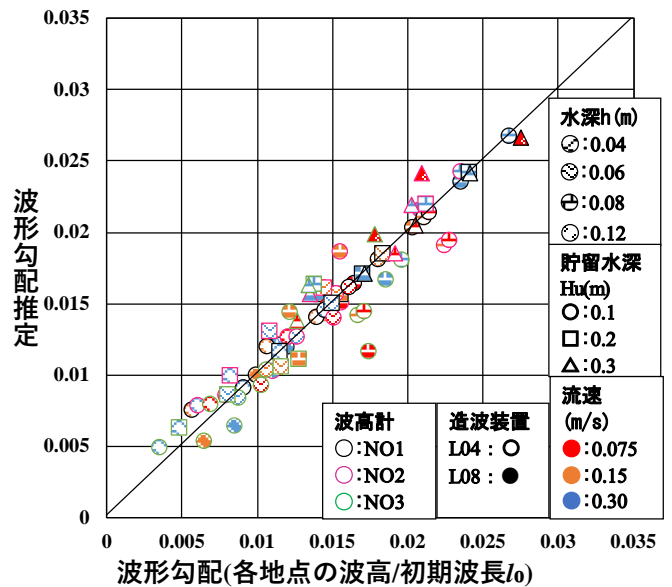


図4 波形勾配の予測推定結果

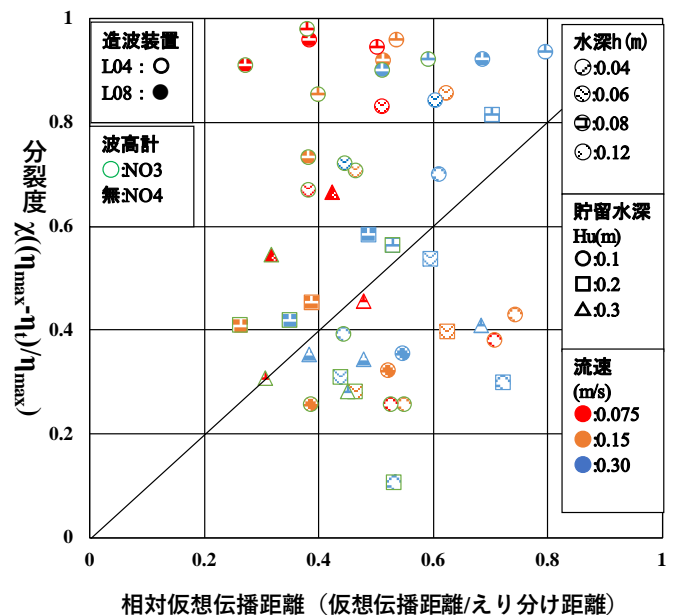


図5 相対仮想伝播距離と分裂度の関係