

河川遡上津波のソリトン分裂の発生に関する一考察

東北工業大学 正会員 ○菅原 景一・高橋 敏彦

1. はじめに

ソリトン分裂をした津波の河川遡上が日本海中部地震津波や2003年の十勝沖地震津波、2011年の東日本太平洋沖地震津波において確認されている¹⁾²⁾。また、河川を遡上する津波は伝播速度も速く、分裂する過程で波高が増大する可能性があり³⁾、河川構造物が流下方向に作用する流体力を考慮して設計され、遡上津波のような大量の逆流によって生じる流体力は考慮されていない⁴⁾ため、甚大な被害をもたらすことがある。

河川を遡上する津波について現地調査や数値解析結果に基づく検討は多数行われているが、水理模型実験に基づく検討はあまり行われていない。特に河川流を伴う流れ場（逆流場）におけるソリトン分裂の発生に関する研究は少ない。例えば岩瀬ら¹⁾は、数値解析の誤差特性を検討する目的で、増幅特性を調べ、 Fr 数の影響は小さく $HL_B/h^2=1$ の関係を保って増幅する傾向があることを示しているが津波の伝播に伴う変化については言及していない。

そこで、本研究では河川（逆流場）を遡上する津波について水理模型実験を行い、ソリトン分裂の発生とその増幅特性について検討を行うことを目的とした。

2. 実験方法及び実験条件

図-1に本研究で用いた実験水路の模式図を示した。実験に用いた水路は長さ10m、幅0.6mの勾配可変型水路で、水路床勾配は1/1000とし、下流端に真空ポンプ式造波装置を設置した。計測装置は同図に示した位置に電磁流速計及び容量式波高計を設置して計測を行った。津波は造波装置の所定の高さまで水を引き上げ装置上部の蓋を急開することで発生させた。実験条件を表1に示した。流れ場は $Fr \approx 0.5$ および流れ無し($Fr=0$)の2ケース、造波装置への貯留水深 H_u は0.1mとし、それぞれ4回ずつ造波、計測を行い流れ場の再現性を確認している。

3. 結果と考察

(1) 水位及び流速の変化

図-2に水位の時系列変化を計測地点毎に河川流の有る場合を実線で無い場合を破線で重ねて示した。河川流の有無に関わらず水路下流で発生した津波は上流へ伝播するにしたがって振幅は減少している。また、河川流有りの場合と無しの場合を比較すると、実線で示した河川流有りの場合には、 $x=1m$ 地点で明らかなソリトン分裂が確認できる。一方、破線で示した河川流無しの場合には $x=4m$ 地点でソリトン分裂が生じ始めている。

図-3の流速の時系列変化においても水位の変化と同様に河川流無しの場合には $x=4m$ 地点でソリトン分裂の生じ始めが、河川流有りの場合には十分に発達したソリトン分裂波が確認できる。また、 $x=-0.5m$ と $4m$ のキーワード：河川遡上津波、ソリトン分裂

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

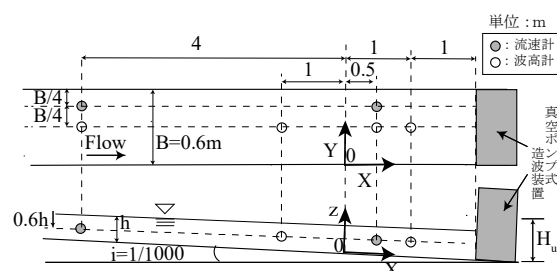


図-1 流れ場の模式図

表-1 実験条件

	河川流有り	河川流無し
貯留水深： H_u (m)	0.1	0.1
初期水深： h (m)	0.035	0.03
河川流量： Q ($\times 10^{-3} m^3/s$)	5.57	0

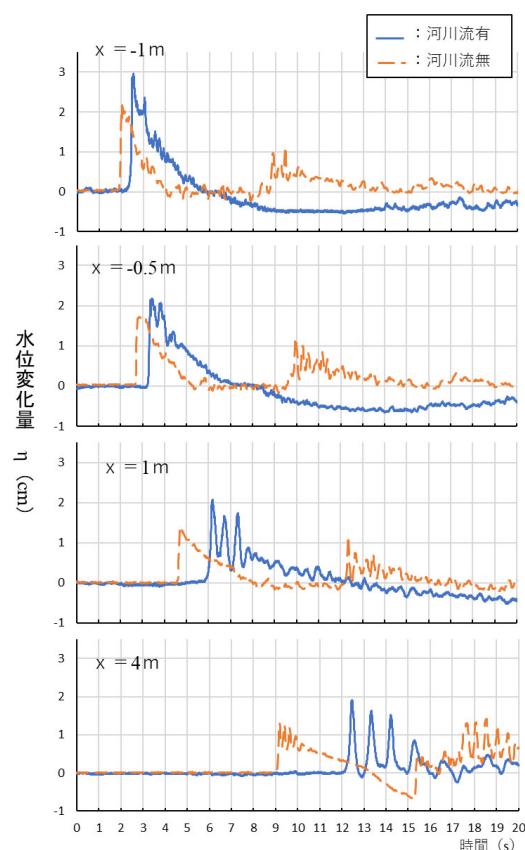


図-2 水位の時系列変化

図を比較すると河川流無しの場合には流速のピークに大きな変化は認められないが、河川流有りの場合にはソリトン分裂の発達に伴って増加していることが確認できる。

(2) 津波の伝播に伴うソリトン分裂の発達

図-4 は相対伝播距離（伝播距離/えり分け距離）と分裂度 χ の関係を示したものである。ここに、えり分け距離 $d_s = (\eta_0/l_0)^{-1} \cdot h^{5/6}$, $\eta_0: x=-1\text{m}$ での段波の波高, $l_0 = (gh)^{1/2} \cdot T_0$, T_0 : 段波の周期 ($x=-1\text{m}$ で水位が静水面より上となる時間) とした。分裂度 χ は $\eta_{\max}$ を分裂第1波の波峰高さ, η_i をそれに続く谷の高さとして $\chi = (\eta_{\max} - \eta_i) / \eta_{\max}$ から求めた⁷⁾。

同図から津波の伝播に伴ってソリトン分裂が発達していることが確認できる。 $x=4\text{m}$ 地点 (相対伝播距離 2~3) での結果を比較すると河川流無しの場合が $\chi \approx 0.4$ であるのに対して河川流有りの場合では χ が 1.0 を超えており、河川の流れ (逆流) があることでソリトン分裂は 2 倍以上の速さで発達していることが確認できる。

(3) 分裂度と波高、波速及び流速の関係

図-5 に分裂度と波高比、波速比および流速比の関係を示した。同図によれば、波速比および波高比については、分裂度 0.37 でそれぞれ 0.86, 0.69 であり、分裂度 0.65 では 0.96, 0.77 と分裂が進むにしたがって加速、増幅する傾向にあるが、分裂度が 1 を超えるとどちらも減少している。一方、流速比は分裂の進行に伴って増加し、分裂度が 1 を超えると約 8 倍まで増加していることが確認できる。

4. まとめ

本研究では、河川を遡上する津波のソリトン分裂の発生とその発達に伴う波速、波高、流速の変化について水理模型実験によって検討を行った。その結果、ソリトン分裂の発達には河川流の影響が大きいこと、ソリトン分裂が十分に発達すると津波の伝播速度や最大波高は減少する傾向にあるが、流速は増加していることなど、河川を遡上する津波のソリトン分裂の発達に関わる性質の一端を示した。

参考文献

- 岩瀬ら (2000): ソリトン分裂波の増幅機構と数値計算の誤差特性に関する一考察, 海岸工学論文集 第 47 巻, pp. 21-25.
- 木村一郎 (2011): 東日本大震災から学ぶ - 地震, 津波の発生から復興計画まで - 津波と河川遡上, 北海道大学工学部環境社会工学科 HP, 地震津波関連情報 <https://www.eng.hokudai.ac.jp/edu/course/civileng/document/seminar20110729-4.pdf>
- 楠原ら (2018): 河川を遡上する津波の基礎的特性に関する数値解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 74, No. 2, I_199-I_204.
- 中村ら (2017): 河川を遡上する津波の数値解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, No. 2, I_331-I_336.
- Hammack et.al. (1974): The Korteweg-de Vries Equation and Water Waves. Part 2, J. Fluid Mech., Vol. 65, Part 2, pp. 289-314.
- 岩崎ら (1978): 孤立性段波のえりわけ距離に関する研究, 第 25 回海岸工学講演会論文集, pp. 132-136.
- 青田ら (2014): ソリトン分裂津波の分裂変形過程と消波工の波力低減効果, 沿岸技術研究センター論文集, No. 14, pp. 1-4.

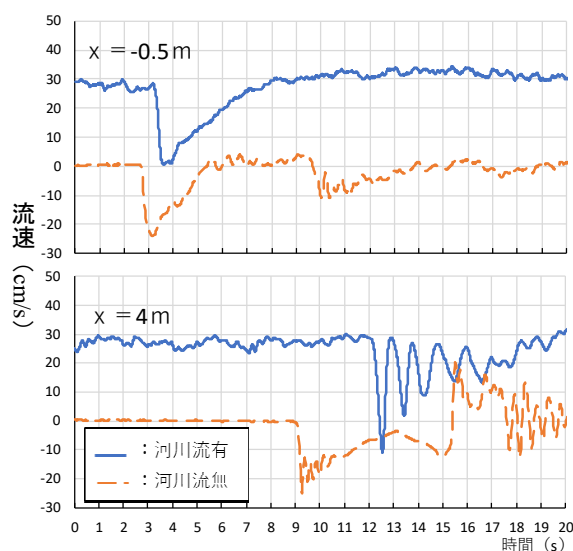


図-3 流速の時系列変化

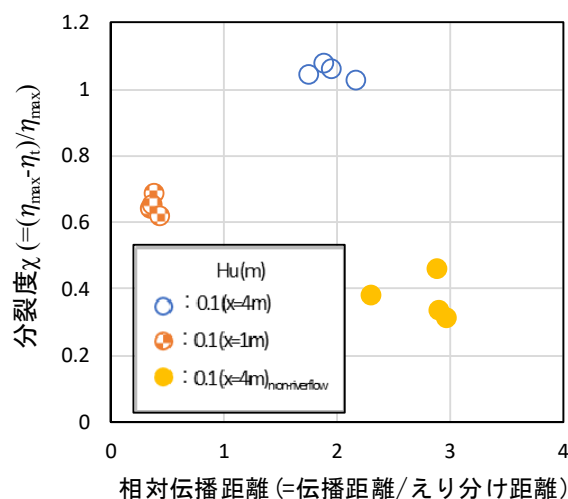


図-4 相対伝播距離と分裂度の関係

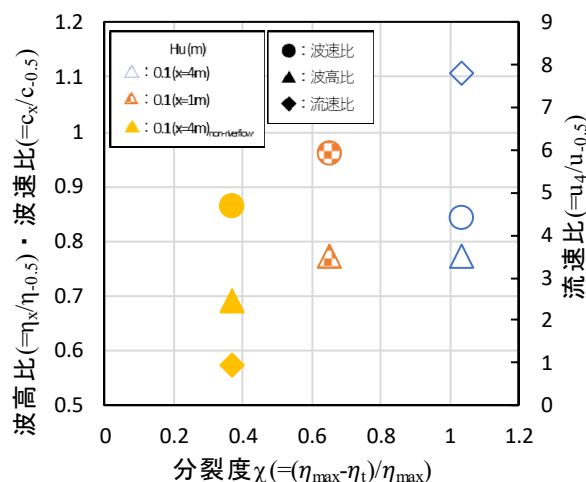


図-5 分裂度と波高比、波速比、流速比の関係