

段波の遷移を考慮した河川津波に関する基礎実験

(独) 土木研究所 ○正会員 坂野 章
 正会員 石神 孝之
 正会員 箱石 憲昭

1. はじめに

先の東日本大震災では、海岸部の被害だけでなく、河川を遡上・流下した津波（河川津波）によって、河川堤防等及び沿川流域で甚大な被害が生じた。河川津波は、高流速・高水位で短時間に急変する特性を有し、河道内では「押し波による流れ」だけでなく「引き波による流れ」等が生じる。この流れによって漂流物等が河川構造物等へ集積して、水位せきあげが増大し氾濫被害を助長したと考えられる。これらに鑑み、今後の河川管理においては、洪水や高潮だけでなく津波を計画的防御の対象として位置づける必要性が指摘された¹⁾。

本研究は、河川津波を設計外力とした場合の河川堤防等の効果的・効率的な対応策について水理的に検討することを最終目的とし、まず外力である津波段波の特性を把握するための基礎的な水理実験を行った。

2. 検討方法

孤立波である津波は、波長が極めて長く規模も大きいため、その波形は普通重力波とは異なり段波的である。その津波が河川を遡上するとよりいっそう段波状となり、条件によっては分裂して波状段波となる²⁾。その波状段波が発達しながら河川に遡上して砕波すると衝撃的に大きな砕波圧が発生し³⁾、砕波点近傍の堰や堤防河岸への影響が懸念される。このような現象に関する研究は河川においては少ない。

実験的に検討する場合には、まず、上記のような段波～分裂（波状段波）～砕波までの一連の現象を再現する必要があるため、「ダムブレイク方式」によって段波津波を発生させ、その波状段波への遷移する状況を確認した。

検討のために製作した水路は、図1に示すように、幅1.5m、長さ49mの二次元水路部分とゲートによって仕切られた貯水槽（幅1.5m、長さ15m）部分からなるコンクリート製である。ゲートはコ

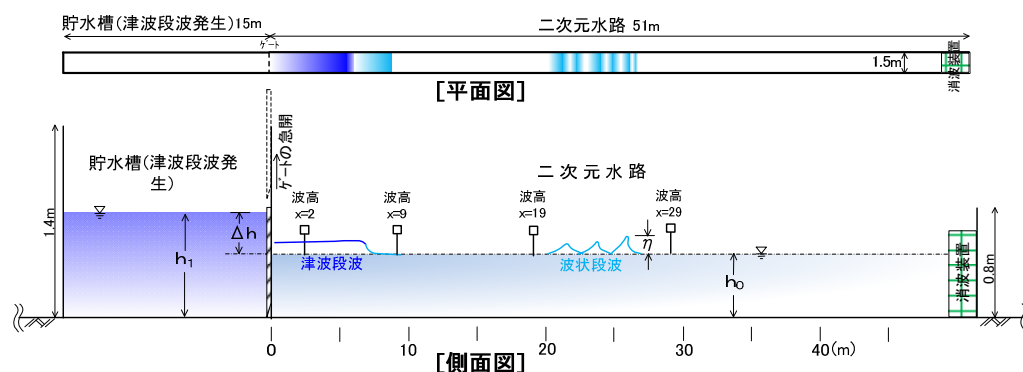
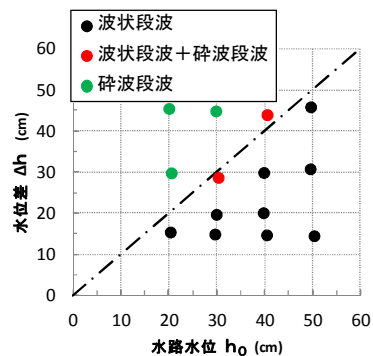


図1 実験水路概要図

ンプレッサーによって引上げられる方式とし、水路縦段勾配はレベル、水路高は0.8mである。実験方法は、まず貯水槽水位 h_1 と水路水位 h_0 を所定条件に設定後、ゲートの急開（引上げ上昇速度 $\approx 0.6\text{m/s}$ ）によって水路内に段波を入射させ、段波の伝播状況を把握した。実験は、 h_0 が4種類、 Δh （ h_0 と h_1 の差）が4種類の組合せの14ケースを対象に、段波の分散状況や段波形態（砕波段波 or 波状段波）の観察及び固定点（水路幅中央の4箇所）における津波高の時系列変化を測定した（容量式波高計による測定、100Hzでサンプリング）。

図2 h_0 と Δh の関係

3. 検討結果

3.1 段波形態の分類

キーワード 河川津波、段波、河川遡上、分散、砕波、河川構造物

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独) 土木研究所水工研究G 水理T TEL 029-879-6783

水路内における段波特性として、水位差 Δh と静水深 h_0 の関係を示したものが図2である。同図は、入射した段波が分散せずに段波先端が碎波して伝播する状態を「碎波段波」、入射した段波がいくつかの波に分散して波状になって伝播する状態を「波状段波」、分散した波状段波の第1波が碎波した状態を「波状段波+碎波段波」として、各ケースの状況がどの状態に対応しているか目視によって判断したものである。これより、 $\Delta h \approx h_0$ (水位差 Δh が静水深 h_0 相当になる条件) を境に「碎波段波」と「波状段波」の領域に分かれる傾向があり、 $\Delta h \approx h_0$ 近傍では「波状段波+碎波段波」となる。また図3は $x=9\text{m}$ 地点 (ゲートから 9m の地点) での最大津波高 η と水位差 Δh の関係について示したものである。なお、津波高 η は、図4に示すように、波状段波では第1波の静水深からの高さとし、その他の状態の段波では静水深からの最大高さとして定義した。図3より、いずれの段波形態においても水位差 Δh と津波高 η の相関は高く、波状段波の津波高 η は水位差 Δh の6割程度である。

3.2 波高の時空間変化特性

水路内の4箇所 (ゲートからの伝播距離 $x=2\text{m}$ 、 9m 、 19m 、 29m) における水位の時系列変化をケース別に示したものが図5である。比較したケースは、水位差 $\Delta h=15\text{cm}$ の一定で、静水深 $h_0=30\text{cm}$ 、 40cm 、 50cm の3種類の条件を有する。いずれのケースにおいても、 $x=2\text{m}$ 地点では段波はほとんど分散していないが、 $x=9\text{m}$ 、 19m 、 29m の各箇所では段波がいくつかの波に分散し、分散第1波は入射波より波高が高くなっている。

分散波の波高と周期の時間的変化は、いずれのケース及び箇所においても第1波が最大で第2波以降は徐々に縮小する傾向が見られる。また、分散波の波高と周期の空間的变化については、いずれのケースでも第1波が波高・周期の最大を示し、分散波全てが伝播に伴って徐々に拡大する傾向が見られる。さらに、静水深の浅いケース1の伝播距離が長い $x=29\text{m}$ 地点では、他のケースと比較して、津波高が高く分散波の波数が多い。以上のことから、水深の浅い河川等に津波が侵入し遡上した場合、分散した波は伝播距離に伴ってさらに発達する可能性が高いため、河川構造物近傍での碎波を想定すると、碎波衝撃圧等によって構造物被災の危険性がさらに高まることが容易に推測される。

4. おわりに

本検討はまだ緒についた段階であるが、津波が河川に侵入遡上すると波の分散が碎波するまで発達する可能性が高いことを実験的に確認し、堤防河岸や堰等の設計外力として津波を対象とする場合には、波の変形を考慮した上で設計する必要があることを指摘した。今後は、この結果を踏まえて河道内の水門ゲートや河岸等にかかる波力等に関して検討していく予定である。

参考文献

- 1) 河川津波対策検討会：河川への遡上津波対策に関する緊急提言(案)、2011.8.
- 2) 福井ら：津波の研究 (I) 一段波津波の波速について一、海岸工学講演会講演集、第9回、pp.44-49、1962.
- 3) 安田ら：ソリトン分裂津波の変形と波力特性に関する実験的検討、海岸工学論文集、第53巻、pp.256-260、2006.

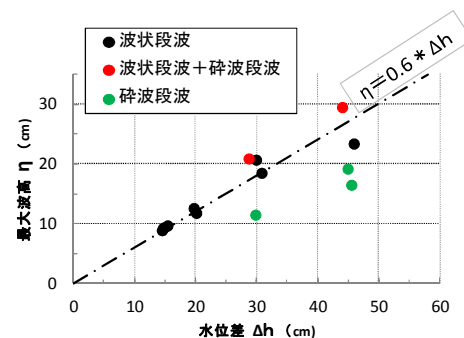


図3 Δh と η の関係 ($x=9\text{m}$ 地点)

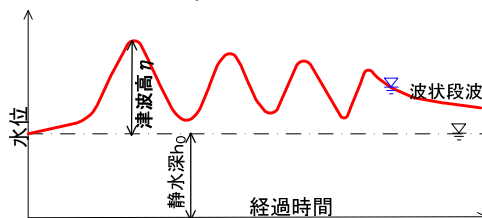


図4 津波高 η の定義

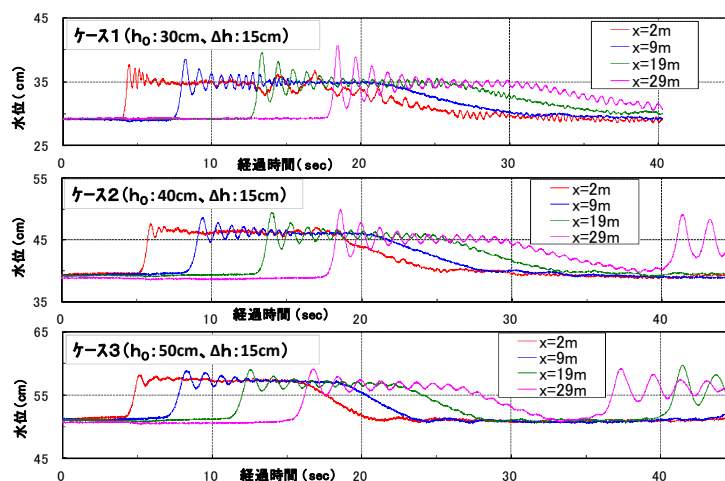


図5 水位の時間変化 (ケース別、場所別)