

複断面河道を遡上する津波の挙動に関する水理実験

hydraulic experiment on behavior of tsunami in compound sections

北海道大学土木工学科	○学生員	廣瀬秀樹 (Hideki Hirose)
北海道大学大学院工学研究科教授	正 員	清水康行 (Yasuyuki Shimizu)
寒地土木研究所	正 員	安田浩保 (Hirovasu Yasuda)

1. まえがき

2003年9月に発生した十勝沖地震を契機として、河川を遡上する津波に対する危険性が強く認識されるようになった。この地震の際に、河川に侵入した津波が波状段波を形成して遡上していく様子が観測された。波状段波が形成されると入射時の段波波高に比べて2倍程度までこれが増幅することが知られている。このため、河川を遡上する津波を取り扱う場合、波状段波についての知見が必要となる。これに関連して、不等流を遡る波状段波に関する研究が行われている。中村らにより実施された研究では、波状段波が単断面水路を遡上する水理実験では、最大で2.5倍程度にまで水位が上昇することが確認されている¹⁾。しかし、波状段波が複断面河道を遡上する場合については未だ研究が進んでいない。実際の河川は複断面形状のものが多く、複断面河道を遡上する津波の特性を知ることが工学的に重要である。

本研究では、既存の単断面での研究結果と今回新たに行う複断面での実験結果を比べながら、複断面においてどの程度波高が変化するかを明らかにする。

2. 実験方法

(1) 実験装置の概要

本研究で使用した実験装置は、図 - 1 に示した全長 34 m、全幅 0.5m の矩形断面水路を複断面型に改良したものである。高水敷を再現するため、実験装置の水路底面上に高さ 0.15m、幅 0.30m の箱を左岸側に寄せて設置した。水路幅の都合上、一般的な複断面形状を半分にした形となっている。

下流端から 6m の区間は固定勾配区間、そこから 28m の区間は水平から 1/50 まで無段階に水路勾配を変化させることができる。水路の上流端に最大給水能力が 80l/s の給水機構と下流の固定勾配区間に排水機構を備え、不等流場を形成できるようになっている。ただし、上流端から約 2m の区間には、ポンプからの給水を整流するための緩衝材を配置した。固定勾配区間には最長周期 10 秒、造波可能最大水深 0.8m のコンピュータ制御のパドル型造波機を備えている。

水位変化の計測は、図 - 1 で示した地点に 5 本の容量式波高計（ケネック製）を低水路側に設置して行った。計測時間間隔は 0.02 秒に設定した。

(2) 実験条件

今回行った実験条件は、表 - 1 に示した通りである。全ての実験条件において、河床勾配 i は 1/250 とした。河川部の条件として流量 Q には 0, 6, 12, 24 l/s を設定した。ただし、流量 24 l/s では、入射波形が急激に消滅してほとんどの波高計でこれを検出できないため、本論文では結果を割愛する。

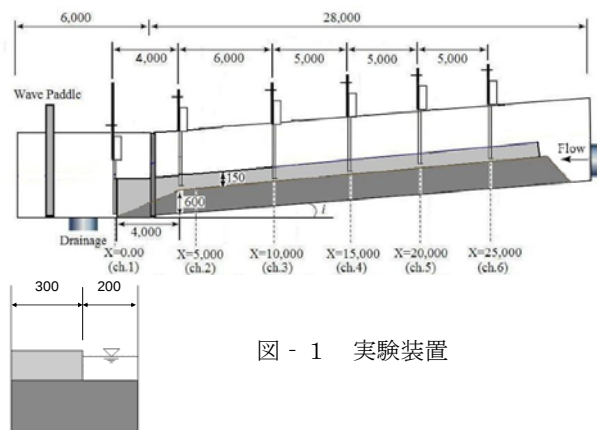


図 - 1 実験装置

型造波機を用いた。入射波の波形は $\sin^2$ の上に凸の半周期の孤立波型とした。コンピュータ制御により目標最大波高 $H_t[m]$ を設定して造波できるようになっている。ただし、中村らにより実施された単断面の実験との比較が可能ないように、単断面の形状に最適化された目標波高の値を予備的な実験を実施して、複断面化により縮小された水路幅でも同等の目標波高を得るための関係を調べている。単断面と複断面の目標波高と波高水深比の関係を表 1 に示す。ここで、波高水深比 H_m/D とは各計測点で計測された最大波高 H_m をその地点での定常水深 D で除した値である。また、最大波高 H_m とは最大水位と定常水位の差と定義する。また、周期 T_t を 5, 7, 9 秒とした。ただし、本文における周期の定義は、定常流水位が一度隆起し再び定常水位に戻るまでの時間である。

複断面では、高水敷が冠水している場合と非冠水の場合がある。そこで今回の実験では、低水路から水が溢れていく場合の波高の特性を知るために非冠水とし、試行錯誤の結果 $x=4[m]$ の地点にて水位が高水敷の高さと同程度となるように設定した。 $x=4[m]$ より下流側では高水敷まで冠水しているが、上流側では低水路にのみ水がある状態である。

なお、この水路底面の材質は敷設された人工芝である。今回の実験の条件における Manning の粗度係数は 0.020～0.022 である。この値は、各流量ごとに縦断方向に 4m 間隔で 4 点の定常水位をポイントゲージで計測し、これらの縦断水位分布がそれぞれ再現できるように Manning

周期 [s]	単断面		複断面	
	Ht[m]	Hm/D	Ht[m]	Hm/D
5	0.015	0.107	0.011	0.115
	0.025	0.173	0.015	0.173
	0.035	0.238	0.023	0.242
7	0.015	0.104	0.010	0.108
	0.025	0.173	0.016	0.171
	0.035	0.235	0.024	0.235
9	0.015	0.146	0.010	0.152
	0.025	0.336	0.026	0.339
	0.035	0.256	0.020	0.261

表 1

の粗度係数を変化させる不等流計算を行い推定したものである。

3. 実験結果

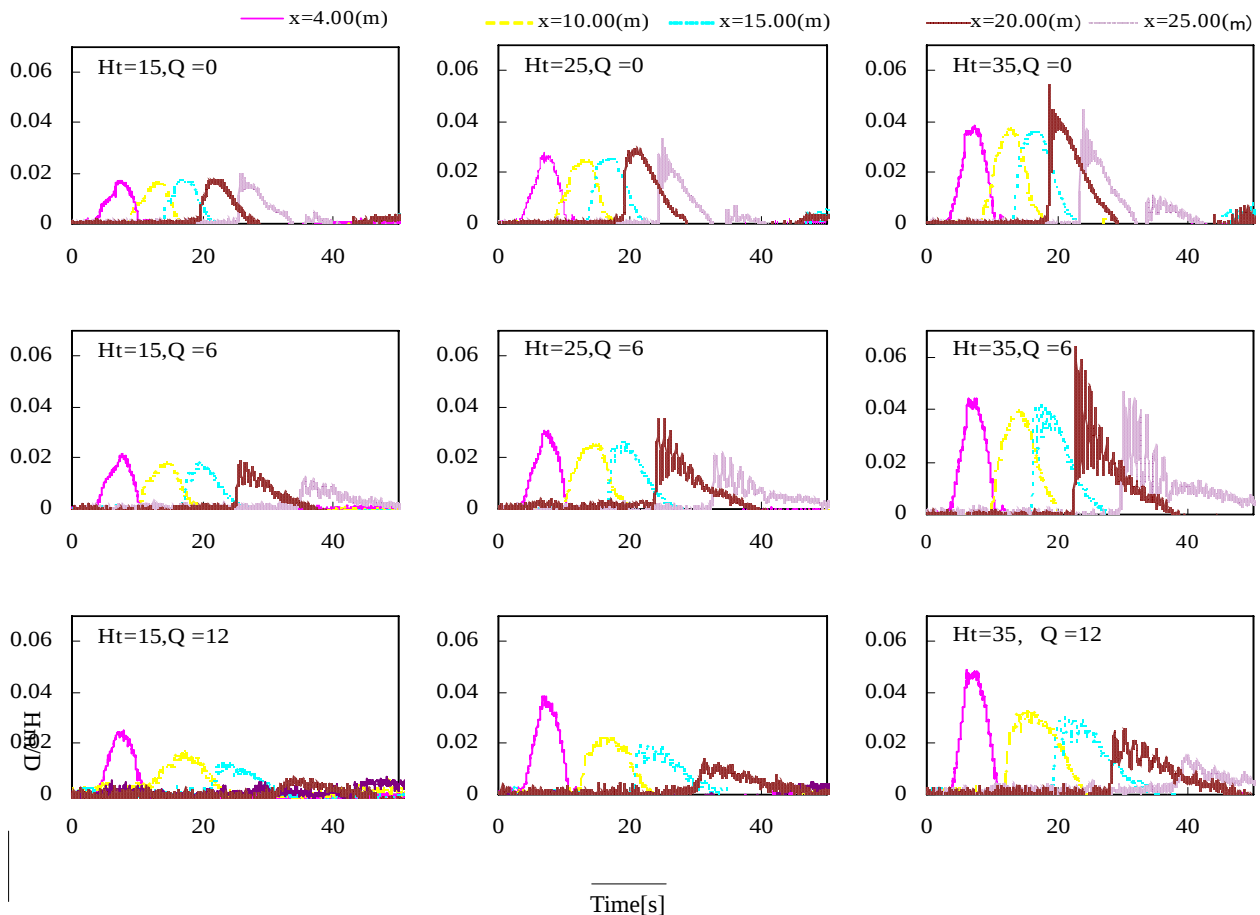
各計測点での時間ごとの水位変化の一例をグラフで表したのが図 - 2 である。これは周期 7s の波を入射させた時のもので、縦軸は定常水位を 0 とした水位[m]、横軸は時間[s]である。

図 - 3 は、流れの遡上に伴う波高の変化を整理したものである。縦軸を波高水深比、横軸は各計測点におけるが大きいほど上流側に位置する計測点の値である。中村入射前の定常状態での Froude 数である。実験条件は一様勾配なので、同一図面内で流量が等しければ、Froude 数が行った単断面での結果と今回の複断面の結果の両方をグラフに載せてある。

図 - 4 は、複断面では単断面と比べてどの程度波高が変化したかをまとめたものである。横軸が $x[m]$ で、縦軸は各計測点における複断面での波高水深比をそれに対応する単断面の波高水深比で除したものである。以降これを波高変化率と呼ぶことにする。

(1) 時間波形の特性

流量 0, 6l/s では入射後に一旦波高が減少し、その後増加していく様子が観測された。図 - 2 のとおり、入射直後は一波峰だったが、上流部では波峰が複数に分散している。下流部では波が高水深に溢れたために波高が減少し、上流側では波数分散現象の効果により波高が上昇したものと考えられる。それに対して、流量が 12l/s になると、上流に行くにつれて波高が一様に減衰していく様子が観測された。これは、流れの影響により波高が減衰したものと考えられる。流量が 24l/s では流れの影響が非常に大きく、入射後まもなく波動が消える様子が観測された。

図 - 2 水理実験の時間波形図 ($Tt=7.0[s]$, $i=1/250$)

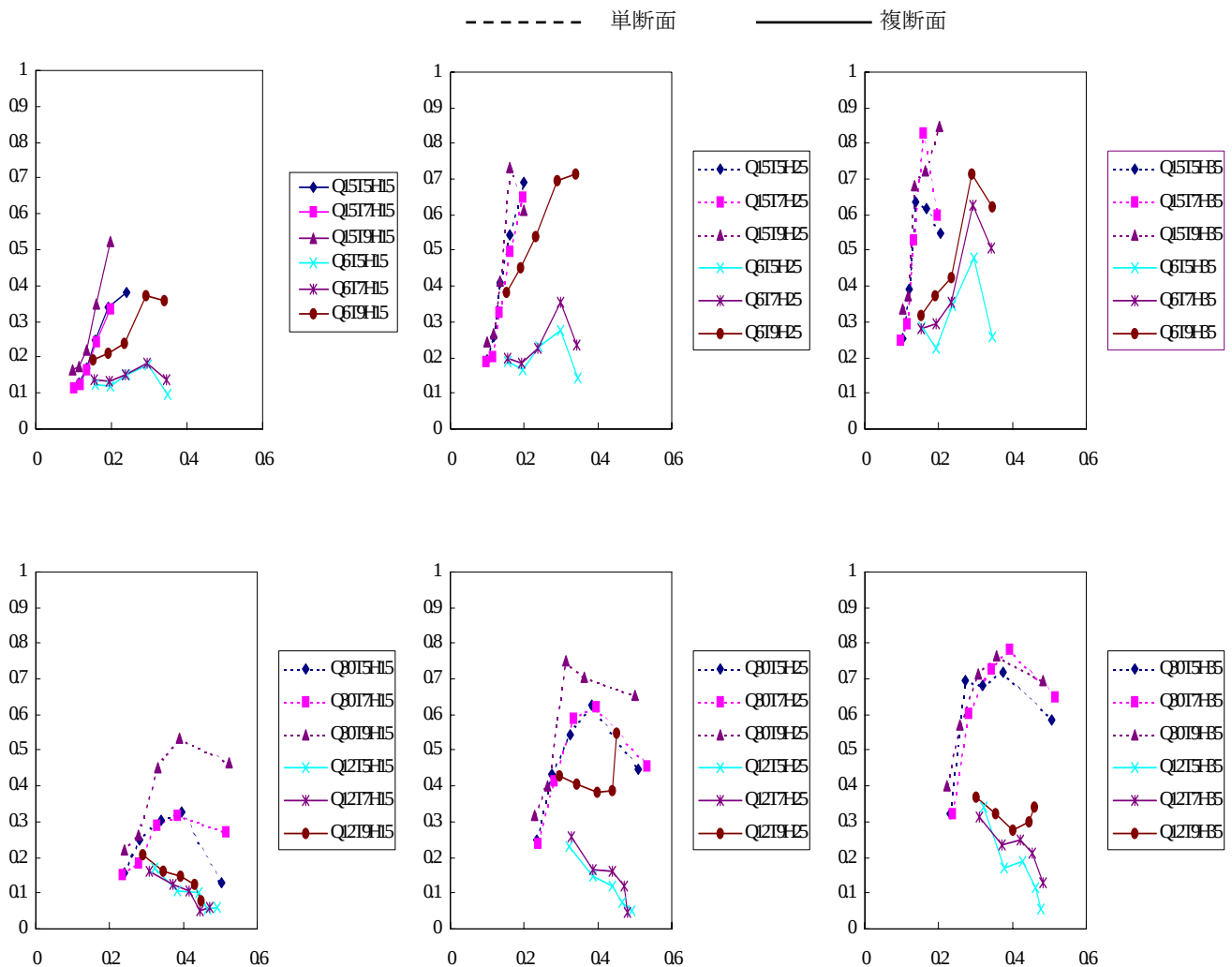


図 - 3 単断面と複断面の波高水深比
(縦軸：波高水深比 H_m/D , 横軸：Fr 数)

(2) 単断面との比較

図-3では、単断面と複断面での波高水深比の変化の様子が描かれている。入射直後は同程度の規模だった波も、その後単断面の方は大きく成長していくが、複断面の方は単断面より小さい規模となっていることがわかる。これは、複断面の場合、下流区間では波が遡上しながら低水路から高水敷側へ越流氾濫していくためと考えられる。また、複断面で特徴的なのは、一度減少した波高水深比が上流側で再び上昇に転ずるケースがいくつか見られることである。しかも条件によっては単断面の場合と同程度まで水位が上昇することがある。

図-4からは、複断面では全体的に、単断面よりも波高が減衰している様子がわかる。

また、流量の影響についてであるが、流量が大きくなるほど分散波の形成が下流側で生じる。このため、より多くの水塊が高水敷に越流氾濫し、単断面と比べて最大波高は縦断的に小さくなる。

るという結果が得られた。それでも、上流に向かうにつれて一度減衰した波高が上昇していく観測結果も得られた。平水時に来襲する中小規模の津波に対しては複断面形状は単純矩形断面と比べると津波の最大水位を減少させる効果が大い。ただし、北海道の場合、春季に長期にわたり融雪出水が発生して水位が高い状態が長期間にわたり生じる。このため、項水路が冠水している場合の実験を今後実施する予定である。高水敷への越流量と波高の減衰の関係は明らかではない。今後は高水敷への越流と波高減衰の関係について詳細を明らかにしていく予定である。

4. おわりに

本研究により得られた結論は以下の通りである。

今回の実験では複断面では単断面よりも波高が減少す

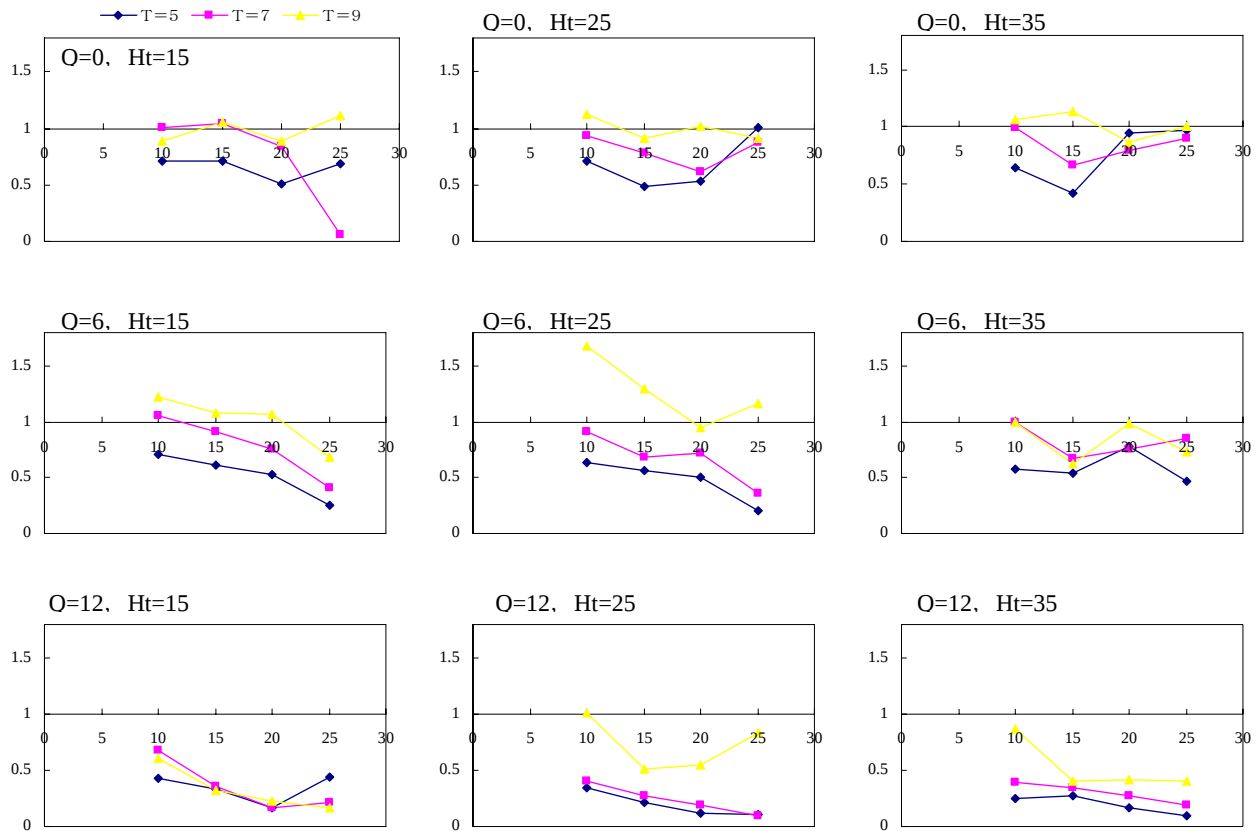


図 - 4 波高変化率

(縦軸：単断面の波高水深比/複断面の波高水深比，横軸：x[m])

謝辞：本研究は，国土交通省北海道開発局からの支援を受けて実施されている．ここに記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 中村祐介，安田浩保，清水康行：流れの遡上に伴う波高減衰に着目した波状性段波の実験的研究，土木学会地震工学論文集，2007
- 2) 中村祐介，安田浩保，清水康行：流れの遡上に伴う波高減衰に着目した波状性段波の実験的研究，水工学論文集，第52巻，2008
- 3) 安田浩保：不等流を遡上する波状性段波の水理実験とその数値計算，土木学会応用力学論文集，Vol.10，pp.555-562，2007