# 1.6 発展途上国における持続的な津波対策に関する研究(3)

研究予算:運営費交付金(一般勘定) 研究期間:平成18年~平成22年 担当チーム:寒地水圏研究グループ(寒地河川) 研究担当者:渡邊康玄,安田浩保

【要旨】

河道内に浸入した津波は波状段波を形成して波頭部で急激な水位上昇を生じる。静水中における波状段波に 関する研究が行われているのみで、河川のような不等流場における知見は非常に乏しい。本研究では、複断面 水路の不等流場を遡上する波状段波の水理実験を行い、既往の単断面実験との対比により複断面の形状が伝播 する入射波に対して及ぼす影響について調べた。

キーワーズ:津波、河川、波状段波、水理実験

# 1. はじめに

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<sup>1)</sup>.この地震に伴い発生した津波は,河川に 侵入して波状段波を形成して遡上していく様子が自衛 隊により撮影された.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不可欠である. しかしながら、一般に波動理論は水平床上における議 論であることがほとんどであるため、河川のような不 等流を遡る波状段波に対してこれらの知見をすぐさま 適用することは難しく、これらに関する研究は緒につい たばかりである.たとえば、安田<sup>2)</sup>や中村ら<sup>3)</sup>は,波状 段波が単断面水路を遡上する水理実験を実施して,最大 で 2.5 倍程度にまで水位が上昇することを示している.

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は工学的に重要であ る.それにもかかわらず, 波状段波が複断面河道を遡上 する場合については未だに研究が進んでいないのが実 情である.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の対比により、複 断面の形状が伝播する入射波に対して及ぼす影響につ いて明らかにすることを試みる。

### 2. 水理実験

#### 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 34m,全幅 0.5m の矩形断面を複断面型に改造した水 路である.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 801/sの給水機構と下流の固定勾配区間に排水

表-1 実験条件の一覧



図-2 低水路に設置された波高計のより観測された遡上に伴う入射波の変形過程(複断面の影響を受けているにもかかわらず、 低水路内を伝播する入射波はいずれの実験条件においても明瞭は分散波列を伴っていることが分かる。)

機構を備え,不等流場が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 ピュータ制御のサーボモータで駆動するパドル型造波 機を備えている.

水位変化の計測は,図-1のとおり配置された5本の 容量式波高計(ケネック製)を用いた.計測時間間隔 は0.02秒に設定した.



図-3 不等流の遡上に伴う各観測地点の最大波高水深比の変化

#### (2) 実験条件

実験条件は,表-1に示す15通りを設定した.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241/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.

下流端から入射する波の造波には図-1内のパドル型 造波機を用いた、入射波の波形は sin<sup>2</sup>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 Hr 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 が可能なように端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 調べており、単断面と複断面の目標波高と波高水深比 の関係は表-2に示すとおりである.ここで,波高水深 比 H<sub>m</sub>/D とは各計測点で計測された最大波高 H<sub>m</sub> 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 Hm 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.

今回実施した複断面水路における実験では,水理条件に依って高水敷が冠水している場合と非冠水の二つの状態が存在する.今回の実験では,平水時の状態である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ものの,それより上流側では低水路にのみに通水している状態である.

なお,低水路の水路底面には人工芝を敷設している. 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 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7秒の波を入射さ 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



図-4 複断面形状がもたらす各観測地点での最大波高の変化率

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 数が大きいほど上流側に位置する計測点の値を意味している.Froude 数については中村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掲載している.

図-4は,複断面では単断面と比べてどの程度波高が 変化したかを整理したものである.横軸が縦断距離,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.

## a) 時間波形の特性

流量0,61/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敷に溢れために波高が 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,図-3から 分かるように、流量が121/sを越える条件では上流に 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241/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. 単断面において実施された実験でもやはり Froude 数が 0.35 を越える流況では同様の急激な波高減衰が観察さ れている。しかも、この急激な波高減衰は、底面せん 断力を考慮した長波系の方程式に基づく数値計算では 再現が困難であることがすでに指摘さている。

### b) 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 様子を示している.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 面では単断面と比べるとその規模は小さく、特に入射 波の周期が短い条件ではおおむね単断面での最大波高 の50%程度となっていることが多いことがわかる.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最終的 に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波頭部の水面勾 配の前傾化が一層促進されるため、分散波列は下流側 で形成されることになる.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.

# 3. 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きい.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、高水敷が冠水 している場合の実験を今後実施する予定である.

#### 参考文献

- 5000 (1) 安田 浩保,渡邊 康玄,藤間 功司:2003年9月の十勝沖 地震に伴い発生した津波の河川溯上,土木学会論文集, No.768/II-68, pp.209-218,2004.
- 2) 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, 第10巻, 2007.
- 3) 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, 第28巻, 2007.

# A STUDY ON TSUNAMI WAVE IN RIVER AND MITIGATION OF ITS DAMEGES

Tsunami that propagate in river often form the undular bore, its wave front occur locally and rapidly wave height increasing. There are so many investigation of the undular bore on flat bet without currents. In the paper, flume experiments on compound section with current were conducted to understand the characteristics of the undular bore in non-uniform flow like river. The experimental results is shown the impact of compound section to propagating undular bore in non-uniform flow.

Key Words : tsunami, river, undular bore, hydraulic experiments