

結氷時河川津波の伝播機構に関する実験的研究

寒地土木研究所 正会員 ○阿部 孝章
 寒地土木研究所 正会員 吉川 泰弘
 寒地土木研究所 正会員 平井 康幸

1. 背景及び目的

2011年3月11日、三陸沖を震源とした東北地方太平洋沖地震が発生した。地震による被害に加え、東北地方で発生した大津波により沿岸域のみならず河川域において破堤、落橋、水門破壊、氾濫等、多様かつ甚大な被害がもたらされた。一方で、この地震による津波は北海道の複数河川にも侵入が確認された。12月～4月は北海道における河川結氷期間である。地震直後に実施された現地調査では、尾幌川（おぼろがわ・厚岸町）の結氷下を津波が伝播し、結氷への亀裂・上流部での氷の破壊等の痕跡が確認された（写真-1）。



写真-1 尾幌川における津波痕跡 1)より引用

厚い結氷に覆われた河川に津波が侵入した場合、開水時とは全く異なる伝播形態が発生することが考えられるが、この現象については全く明らかになっていないのが現状である。そこで本研究では、河川結氷下の津波伝播機構を解明することを目的とし、津波実験水路に氷模型を浮かべた基礎的な水理実験を実施した。

2. 結氷時河川津波に関する水理実験の概要

水理実験では、全長 34 m、水路幅 0.5 m の矩形断面を有する図-1 に示す水路を用いた。水路上流端には給水機構、下流端には排水機構を備え、不等流場を形成することが可能である。縦断的な圧力変化の計測を行うため、縦断方向の $x = 5.5, 8.6, 12.5$ m 地点に圧力センサ（STS Sensor Technik Sirmack AG, スイス）を設置した。本稿ではそれぞれによる計測を Ch.1～3 と統一して表記することとする。

実験施設の制約上、河川津波を無歪み模型で再現することは困難が伴う。そこで歪み模型の考え方を適用し、Froude 数に関する相似則を満たすように全ての実験条件において、河床勾配 $i_b = 1/1000$ 、造波板前の水深 $D_M = 0.70$ m とした。流入流量は、便宜的ではあるが $Q_{in} = 0.40$ [L/s]と設定した。これは水路内で現象を確認する区間を 25 m とすれば、河川縦断方向に約 1 km、河口付近水深を約 2 m としたことに相当する。また流量に関しては現地での約 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ に相当し、これは北海道の 1 級河川鶴川の 1～3 月(河川結氷期)の流量観測記録に基づいて設定した。

河口域の河川結氷は、完全結氷している状態である場合か、もしくは河口域において潮汐作用によって河岸からは剥離しているが、河口近傍まで結氷が存在する場合の 2 種類が考えられる。そこで本実験ではこれらを再現するため、幅 495 mm、長さ 0.80 m、厚さ 15 mm 合板に防水加工を施したものを結氷に見立て、 $x = 5.0 \sim 13.0$ m の区間に 10 枚 (8 m) 設置した。模型氷を完全に固定したケース (氷固定)、水面に浮かべただけのケース (氷非固定) について津波伝播速度を計測した。更に比較のため、開水路状態のケースも実施した。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^2 の上に凸の半周期の孤立波型とし、この波形の造波板前面における目標波高 H_T を 0.03, 0.06, 0.09, 0.12 m、周期 T_s を 6 秒とした。

伝播速度は次のように求めた。造波板の稼動開始時刻を $t = 0$ とし、圧力の計測値を p 、津波侵入前の圧力を p_0 、最大値を p_{max} とし、 $(p-p_0)/p_{max}$ が 0.2 となった時刻に河川津波が通過したと見なした。

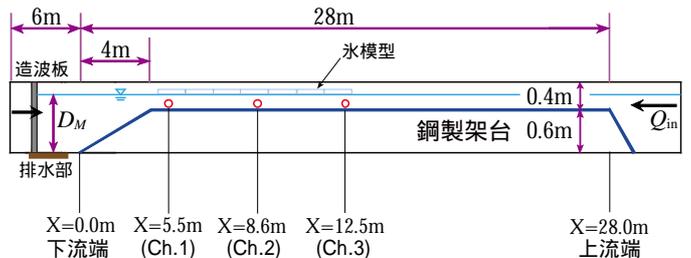


図-1 実験水路の諸元と圧力センサの設置位置

キーワード 河川津波, 結氷河川, 水理実験, 圧力波伝播

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34 寒地土木研究所 TEL 011-841-1639

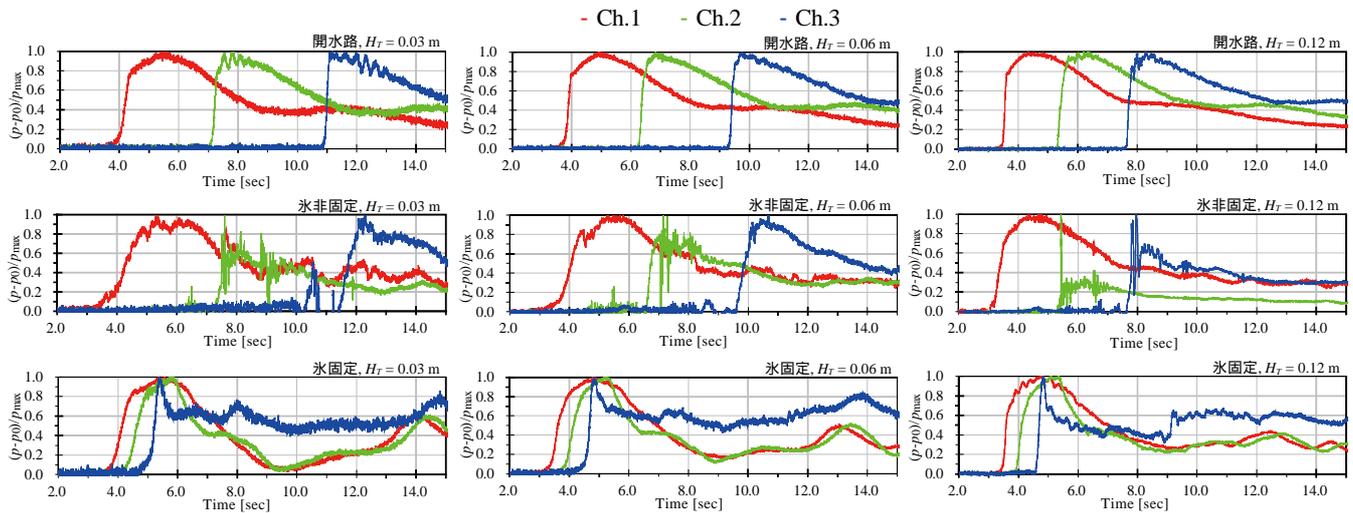


図-2 圧力の時間波形図（開水路、氷非固定、氷固定の3 ケース）

3 . 結果及び考察

図-2 に示したのは、 $H_T = 0.03, 0.06, 0.12$ における開水路、氷非固定、氷固定の場合の Ch.1~3 における圧力波形である。上段の開水路のケースより、波高の変化で圧力波形には顕著な違いが見られないが、伝播速度は大きくなっていることが読み取れる。氷非固定の条件では、圧力波形に顕著な振動が見られ、波高によって波形も大きく異なる。 $H_T = 0.12$ m の条件では、Ch.2 において急激に圧力が増大したことも分かる。一方、氷固定の条件では開水路の場合と同様、波高変化による圧力波形の変化は顕著ではない。Ch.1, 2 では時系列的にゆるやかな波形変化が確認できるが、Ch.3 では Ch.1, 2 とは異なる変動特性が現れている。

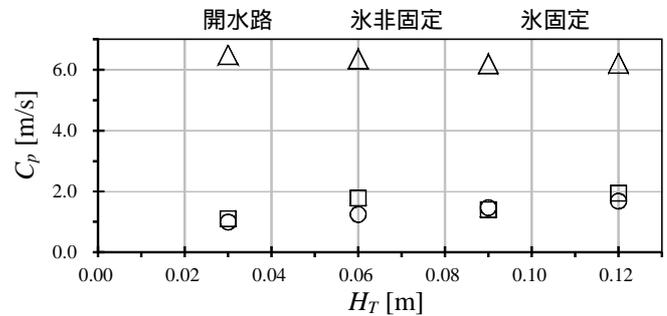


図-3 波高と伝播速度との関係

図-3 に示したのは、各ケースにおける波高に応じた圧力伝播速度 C_p [m/s] の変化を示したグラフである。グラフより、開水路の場合と氷非固定の場合では伝播速度は大きく変わらず、波高が大きくなるにつれやや伝播速度も大きくなる傾向が見られる。一方、氷固定のケースでは他 2 ケースに比較して大きな伝播速度となっている。同一の波高に対して、氷固定の場合は開水路に比して 3.7~6.5 倍、氷非固定の場合に比して 3.2~5.9 倍の伝播速度となった。

氷固定のケースでは河川津波が圧力波（粗密波）の形態で伝播するため、開水時に比して非常に大きい伝播速度となったと考えられる。一方、氷非固定の状態では移動可能な氷の存在によって水面の攪乱が生じ圧力波形は乱れるものの、そのような攪乱の伝播速度は、開水路における津波フロントの伝播速度と大きく変わらないものと推定される。

4 . まとめと今後の課題

結氷時の河川津波に関する基礎的な水理実験を実施し、厚い結氷に覆われた河川では、開水時に比して津波が非常に大きい速度で遡上する可能性があることが明らかとなった。本稿では実験水路の制約上、非常に短い距離の伝播についてのみの検討となったが、今後は数値解析手法等を用い、現地河川のスケールで同様の現象が発生するかの検討を実施する予定である。

参考文献

1) 渡邊康玄, 西田正実, 木村祐輔, 小松佑輔, 釧路管内 2 級河川津波遡上調査, URL: <http://rde.nhdr.niigata-u.ac.jp/jsce/> (参照日 2012/4/6).