

氷板漂流物を伴う河川遡上津波の 波力評価に関する検討

阿部 孝章¹・船木 淳悟²

¹正会員 博(工) 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34)

E-mail: abe-t@ceri.go.jp

²正会員 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34)

E-mail: funaki-j22aa@ceri.go.jp

本稿では、氷板群を伴う大規模河川津波が橋桁に及ぼす波力の特性を明らかにするための実験的研究を行った。その結果、氷板群が存在することでアイスジャムの発生と橋桁の閉塞が発生し、開水時に比較して波力が上昇し得ることが明らかになった。それに加え、これらの現象が継続波力を1.5倍から2倍ほど上昇させ、落橋のリスクを増加させ得ることが分かった。本研究は特定の条件下における津波漂流物の効果を明確化し、津波漂流物による波力増加効果を明らかにすることに成功した。

Key Words : river tsunami, ice floe, bridge girder, wave impact force estimation

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震津波を機に、大規模津波の発生時は橋梁等の流出が問題視されるようになった。東北地方で多数の落橋が生じた要因の一つとして、遡上あるいは流下する津波漂流物の存在が挙げられる。一方で、北海道のような積雪寒冷地域においては、冬期間(概ね12～4月)水面は結氷で覆われ、春先には河水の流下も見られる。このような河川に津波が遡上すると結氷の破壊と大量の氷板輸送が生じる可能性があり¹⁾、漂流物となった氷が横断構造物付近で閉塞を起こし(所謂アイス

スジャム現象)、落橋等の被害を助長する懸念がある²⁾。しかしながら河川津波と漂流氷板群、あるいは氷板群と横断構造物の相互作用はほとんど未解明であり、その基本的な特性さえほとんど明らかにされていないのが現状である。そのような状況の中で佐藤ら³⁾は氷板漂流物と河川横断構造物の相互作用に特に着目した水理実験を実施し、その基本的な特性を明らかにしている。しかしながら、衝撃力評価は充分には行われていない。そこで本研究では、漂流氷板群と河川横断構造物の衝突が発生した場合のアイスジャム現象に注目し、横断構造物のタイプを変えた水理実験により衝撃力の基本特性を理解することを目的とした検討を行った。



写真-1 津波遡上後に北海道鶴川（むかわ）火口から2.4 km付近で撮影された氷板痕跡。2011/3/14 14:00頃撮影。

2. 水理実験

水理実験には寒地土木研究所が保有する簡易可傾斜水路を使用した(図-1)。延長15 m、水路幅30 cmであり、下流部にダムブレーク型の造波装置、排水口を設置しており、不等流場を遡上する河川津波を模擬することが可能である。模型縮尺は1/100-1/50程度、初期水深 h_0 を3 cm、ダム部水深 H_0 を17 cm、25 cmとし、流入流量は北海道の直轄河川の冬期流量を参考に0.1 L/s及び0.2 L/sとした。

水路中央部にはボックスガーター橋、トラス橋の模型を設置し、その直下流部2 m区間に氷板模型を設置した。

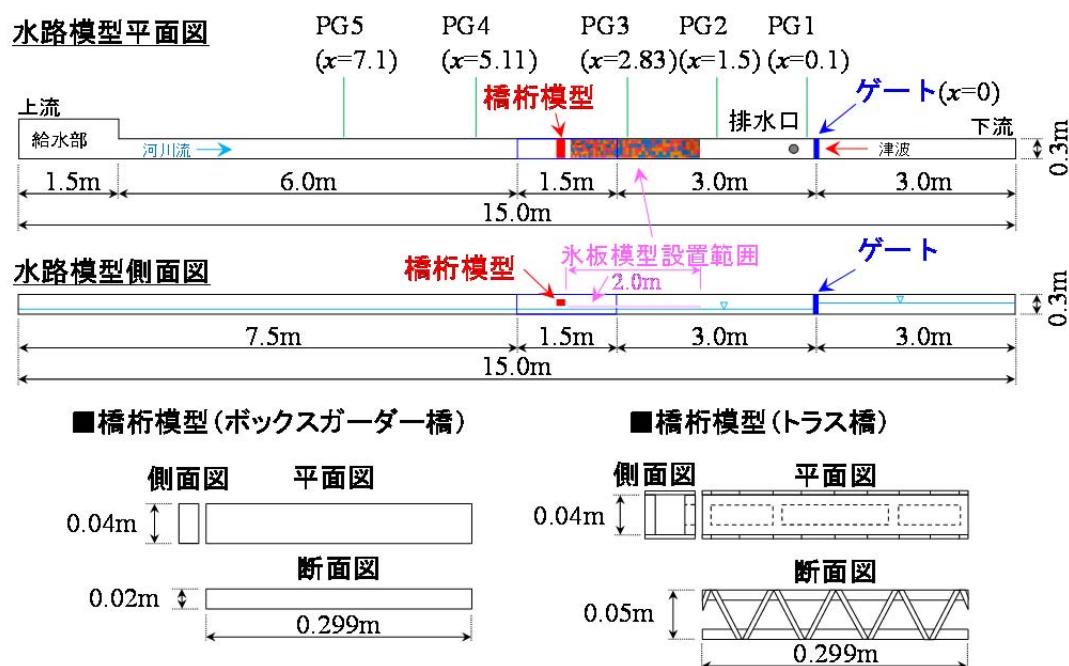


図-1 使用した水路及び橋梁模型の平面図・側面図³⁾

模型サイズは縦横3cmの正方形，厚さ5mmである．氷板模型のサイズは現地での氷板諸元の計測結果⁴⁾に基づき設定した．

氷板模型の枚数は写真-1のように密に滞留する氷板群を模擬するため，実験時は流下しないように楯状の器具により下流側で位置を固定した．氷板量小及び大のケースを設定し，それぞれ設置領域の水面面積の20%，80%となるようにした．水路内の縦断的な水位変化を計測するため図-1上部に示したように水路内5地点にピエゾを設置し，接続した導水管を圧力センサATM.1ST (STS Sensors, スイス)に接続し水深の計測を行った．また，横断構造物に対する津波の衝撃力を把握するため，橋桁模型には3分力計LMC-3502A-100N(日章電気(株))を接続して上から吊すように設置した．横断構造物も氷も無いケースを比較の基準とし，ボックスガーター橋の場合，トラス橋の場合それぞれについて流況観察及び時系列的な流下方向作用力の比較を行った．

尚，水位計及び3分力計の計測間隔は1/1000 sとしたが，これらの計測値には高周波のノイズが含まれていたため，検討にあたっては前後の0.05 s間（合計0.1 s）にわたる移動平均を取って分析に用いることとした．

3. 結果及び考察

図-3に示したのは， $H_0 = 25$ cmで実験時ダムブレイクにより発生した段波が横断構造物に接近して衝突し下流側へ反射波が発生するまでの一連の様子である．氷の存在しない場合，(a)のボックス橋の場合衝突した津波は激

氷板量小のケース



氷板量大のケース



図-2 水路内における氷板模型の設置状況

しく上方に巻き上がっているが，(c)のトラス橋の場合はトラスの空隙を透過している様子が確認された．つまりボックス橋の場合フロントの運動量を直接的に受ける可能性がある．次に氷が存在する場合，衝突直後から流れが橋梁を乗り越えるまでの様子において，(b)と(d)いずれにおいても氷板が一部橋梁の下流側面に張り付き，流れを妨害している様子が確認された．但し，(d)のトラス橋の場合の方が接触している氷板枚数が多く，トラス橋の上面にも一部残留する様子が確認された．水を通しやすいトラス構造のために，このような氷板の付着が生じると考えられた．

図-4に示したのは，ボックスガーター橋模型を用いた場合において，ダム部水深，初期水深，氷板量を変化させたケースでの水平方向作用力の時系列変化である．

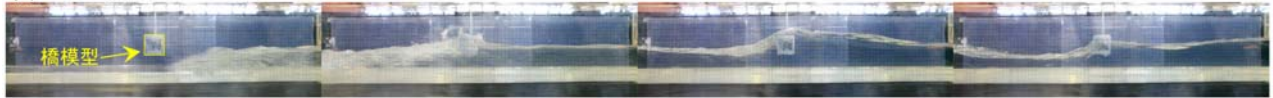
(a) ボックス橋, 氷無しの場合



(b) ボックス橋, 氷有りの場合



(c) トラス橋, 氷無しの場合



(d) トラス橋, 氷有りの場合



図-3 氷板群模型を伴う津波の流況の例；ボックスガーダー橋とトラス橋との比較

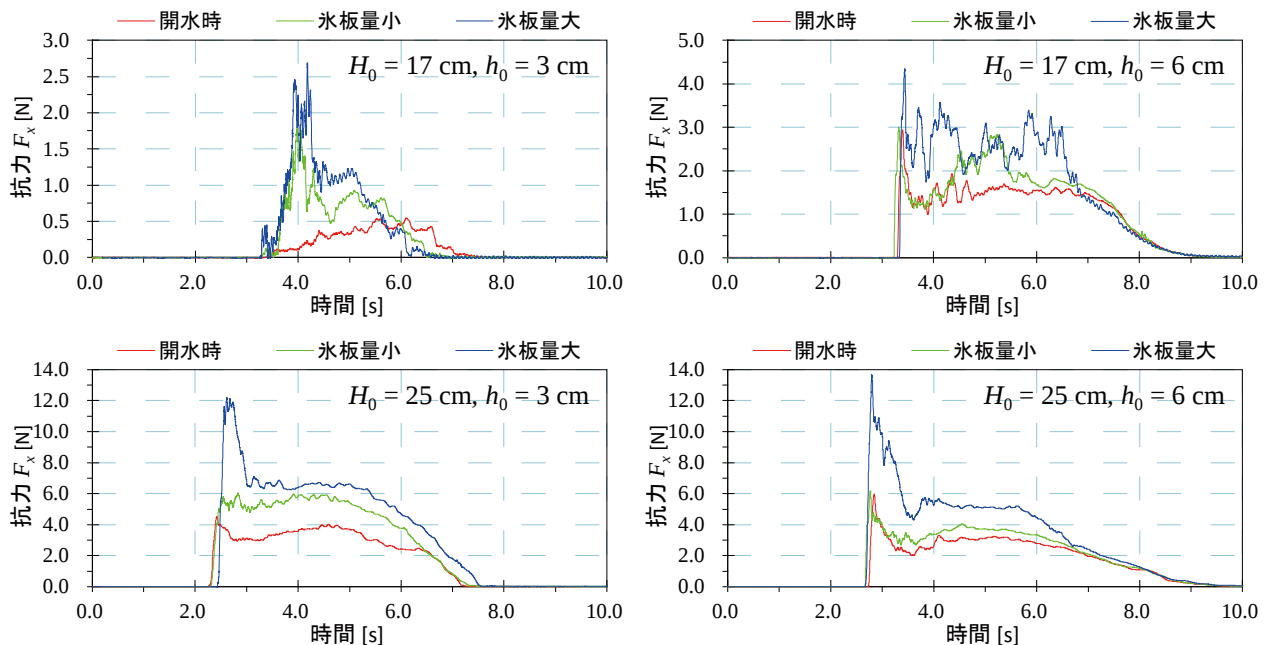


図-4 ボックスガーダー橋の場合の波力計測結果

各水理条件に対応したケースを見ると、開水時の場合に比較して氷板が存在する場合には、氷板量の大小によらず作用波力は大きく推移したことが分かる。尚且つ氷板量が大の場合では、小の場合に比較すると1.5倍から2倍程度の波力上昇が確認できる。これは漂流物群を伴ったために固体衝突による衝撃波力の増大したという要因と、図-3に見られるように橋桁の下流側面に付着した氷板群が流れを阻害したことが要因とが考えられた。

一方で、図-5に示したのは、トラス橋模型を用いた場合での水平方向作用力の時系列変化である。ダム部水深17 cmのケースでの開水時、氷板有りのケースの波力上昇傾向は類似している。ところが、ダム部水深が25 cmの場合には波力の増大が顕著に見られる。それも、段波フロントが橋桁に接触した直後ではなく、継続波圧とし

て作用している時間帯においてその上昇が顕著であると言える。上述のように橋桁模型下流側に氷板群の付着が発生するのは両方の橋桁模型で共通の事象であったが、図-3の実験時流況の比較から、トラス橋の場合にはトラスの空隙部を氷板群が閉塞し、流れを阻害することで水流が上部と下部に分離する様子が確認された。このようにトラス橋の場合には、継続波圧が顕著に上昇することが確認された。

以上の実験結果から、氷板群を伴う大規模な河川遡上津波が橋桁のような横断構造物に接触する場合、氷板が遡上津波の流れを阻害する所謂アイスジャム現象が発生すだけでなく、橋桁の形状によっては、衝突後の継続波圧の作用時間帯において顕著な波力上昇が発生する可能性が確認された。ボックスガーダー橋の場合には高々2

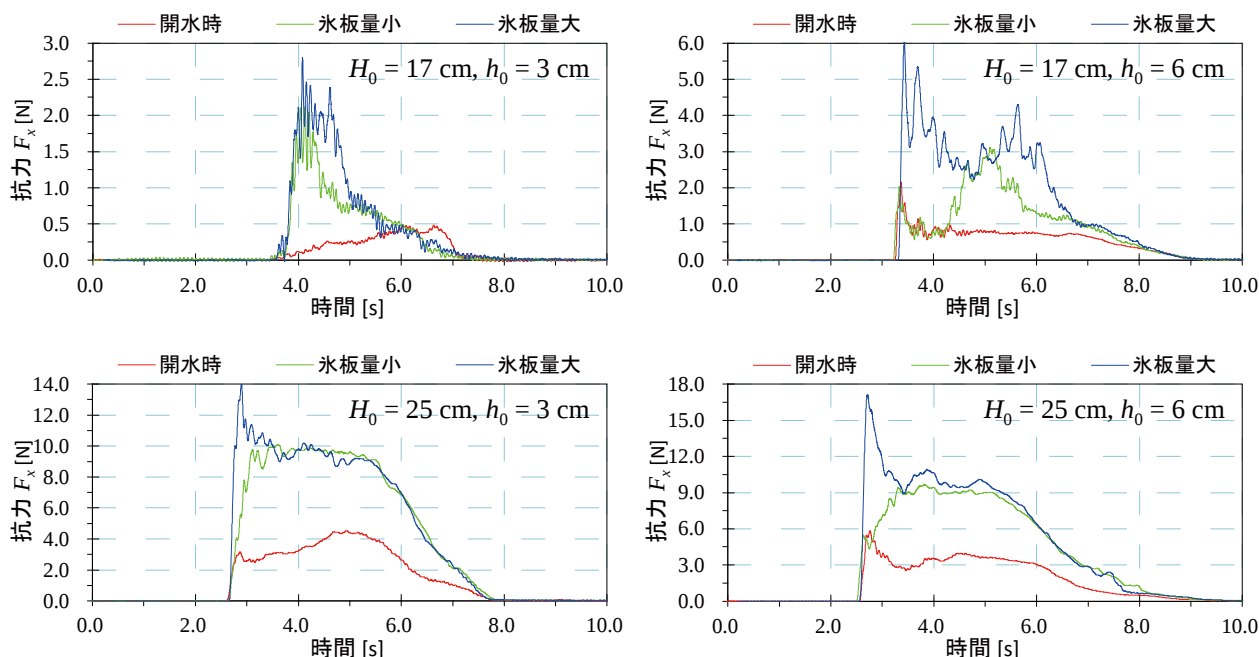


図-5 トラス橋の場合の波力計測結果

倍程度の波力上昇であったが、トラス橋の場合には2.5倍前後以上の波力上昇が確認された。

交通省北海道開発局佐藤好茂氏にご尽力頂いた。ココに記して謝意を表します。

4. まとめ

本稿では大規模津波発生時に想定される横断構造物の氷板による閉塞効果に関する水理実験を実施した。本稿の条件においてはボックス橋よりトラス橋の方がアイスジャムを誘発しやすい条件となり、特に橋梁部において顕著な継続波力上昇の可能性が確認された。

本稿で見出された知見は、寒冷地の漂流氷板のみならず流木等一般の漂流物に関して、橋梁の閉塞効果を踏まえた津波防災の立案に資することが期待される。

謝辞：本研究における水路実験の条件設定にあたり、北海道大学渡部靖憲准教授、北見工業大学吉川泰弘助教にご助言を頂いた。本研究のデータ整理にあたっては国土

参考文献

- 1) 吉川泰弘, 阿部孝章, 平井康幸: 河川津波に伴い発生した北海道鶴川のアイスジャム再現計算, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68(2), pp.I_416-I_420, 2012.
- 2) 国土交通省北海道開発局: 雪氷期の津波沿岸防災対策の検討報告書, 平成 25 年 3 月, 2013.
- 3) 佐藤好茂, 阿部孝章, 吉川泰弘, 伊藤丹: 氷板混合津波が橋桁に及ぼす波力特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp.I_851-I_855, 2014.
- 4) 阿部孝章, 吉川泰弘, 平井康幸: 北海道太平洋岸地域で発生した河川津波に伴う漂流氷板の寸法計測, 土木学会論文集, B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_1436-I_1440, 2012.

INVESTIGATION ON WAVE FORCE ESTIMATION OF RIVER TSUNAMI WITH ICE FLOE DRIFTS

Takaaki ABE and Jungo FUNAKI

This study conducted laboratory experiments on large tsunami with ice floes for clarifying characteristics of wave force on bridge girders by the measurements of wave force. As a result, it is clarified that the existence of ice floe can cause wave force rise due to the ice-jamming and the blockage of the bridge girders compared with the cases without ice cover. In addition, they can also lead to clear increase in continuous wave force by about 1.5 to 2.5 times higher, which can result in the increase of risk of collapse of bridges. This study highlights the effects of tsunami drifts in certain cases and succeeded in clarifying the effects of them on the wave force increase.