

I-306

結氷河川における橋脚の設計に関する一考察

北海道開発技術センター 正員 原文宏

北海道大学工学部 正員 小野敏行

北海道大学工学部 正員 佐伯 浩

1. はじめに

我が国の橋梁関係の設計示方書では氷の問題については触れられていない。この理由は、氷象がそれ程厳しくないことと、我が国の寒冷地の河川が比較的急流で、上流部の標高が高いため、一般に下流部に較べて上流部の気温が低く、ソ連、アラスカ等の河川の場合と違って下流部から融解が起こり、徐々に上流部に進行するためである。そのためIce Jam等の発生もほとんど見られない。北米等では、過去に数多くの橋梁が氷によって破壊しており、設計基準にも氷力等に関する規定が示されている。本研究は、特に米国、カナダそれにソ連の橋梁設計基準の中から氷に関する部分を抜き出し、それについて考察を加えたものである。

2. 氷に関連した米国の設計基準

米国の橋梁の設計基準はASSHTOによって採用されているが、その荷重の項に橋脚に作用する氷力として以下のように述べられている。橋脚に作用する氷力としては、建設予定地や予想される氷の作用形態等によって選択されるべきである。そして次のような作用形態が考慮されるべきである。(a) 河川の流れや風によって移動する大氷盤や氷盤による動的氷圧力 (b) 大水域にある連続した大氷盤の温度による膨張・収縮に伴う静的氷圧力 (c) アイスジャムによる静的圧力 (d) 氷盤凍着時の水位変動による鉛直上下方向の静的氷力。また、動的氷力として、移動する氷盤による水平方向氷力は次式で計算される。

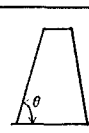
$$F = C_n \cdot h \cdot w \cdot \sigma_c \quad (1)$$

ここで、Fは橋脚に作用する水平方向氷力 (Pounds), hは橋脚に接する部分の氷厚 (inch), wは氷が作用する位置の橋脚の幅あるいは直径 (inch), C_n は表1に示すように、橋脚前面の傾斜による係数である。

種々の状況に対応した有効な氷の強度の指針として次の値が使われている。

表1

θ	C_n
75° ~ 90°	1.00
60° ~ 75°	0.75
45° ~ 60°	0.50



(a) 融解温度 (0℃) でBreak-upが起こる時そして、氷が独立して個々の状態に構造物に衝突するような場合は σ_c は100 Pounds/inchies (7kgf/cm²)程度。(b) 氷の融解温度 (0℃) でBreak-upが起こり、非常に大きな氷盤の時は σ_c は200Pounds/inchies (14kgf/cm²)程度。(c) Break-up時に、大氷盤として初期移動した氷盤が橋脚に衝突する時は σ_c は300Pounds/inchies (21kgf/cm²)程度。(d) Break-upあるいは、大規模な氷の移動が氷の融解温度以下であるような時は σ_c は400 Pounds/inchies (21kgf/cm²)程度。氷の有効強度 σ_c は氷厚と橋脚幅の比によっても補正されるべきで、次のインデンテーション係数が乗されるべきである。よって $\sigma_c = \sigma_c' \times C_i$ であり、橋脚の軸は氷盤の卓越した移動方向に平行に建設されるべきである。また、(1)式で計算される氷力は橋脚の軸方向に作用し、橋脚の軸方向に直角方向の力は(1)式で計算される氷力の15%が同時に作用する。さらに、橋脚軸が氷の卓越進行方向に平行に置けない場合や、氷の作用方向が斜めからである場合には、橋脚

表2

w/h	Indentation Coefficient C_i
0.5	1.8
1.0	1.3
1.5	1.1
2.0	1.0
3.0	0.9
>4.0	0.8

に作用する全氷力は(1)式で計算される氷力とし、それをベクトル成分に分ける。また、そのような場合、橋脚軸に直角方向の場合の力はいなかる場合も、(1)式の全氷力の20%以下として考える。スレンダーで可撓性のある橋脚の場合には、動的氷力による振動特性を考慮すべきである。静的氷力について、大水域で橋脚に氷盤が凍着している時の氷圧力は、氷温変化による氷盤の膨張が起こるといった特殊な条件を考慮に

入れるべきである。以上が米国における橋梁設計基準で決められている氷力に関する部分の全てである。氷に関連したカナダの道路橋設計基準はカナダの基準協会により作られていて、その氷力に関する部分は米国の場合とほぼ同じである。

3. 氷に関連したソ連の設計基準

ソ連の橋梁に作用する氷力の基準は、米国やカナダの基準と較べたると、より詳しく決められていて、河川の水利構造物や橋梁の設計に当っては以下に述べる氷力が考慮されている。(a) 個々の浮氷盤の衝突による動荷重 (b) アイスジャムによる動荷重 (c) 大氷盤の熱膨張による静的荷重 (d) 風や流れの作用による氷野からの荷重 (e) 氷盤凍着時の水位変動による静的荷重 (f) 浮氷盤が構造物表面をこする時の摩擦による動的氷力。この中で動的氷力については、鉛直面を有する橋脚の場合、橋脚軸に平行に移動する氷盤が作用する時の氷力は次式で示される。

$$P = m \cdot A \cdot \sigma_c \cdot w \cdot h \quad (2)$$

ここでPは橋脚に作用する氷力(ton), wはBreak-upが起こる水位の橋脚の幅、 σ_c は氷のCrushing strengthで、実験的なデータがない時は75ton/m²(7.5kgf/cm²)、また Break-up時の最大水位の時は45ton/m²(4.5kgf/cm²)である。mは橋脚の断面形状による係数で半円形の場合0.9、楔形の断面形の場合、頂角を2 β とすると表3のようになる。なお矩形断面形状の場合は1.0である。

表3

2 β	45°	60°	75°	90°	120°	180°
m	0.54	0.59	0.64	0.69	0.77	1.00

ある。また、Aは、気候係数と呼ばれるもので主に冬期の気温に依存している。hは計算される氷厚で、超過確率1% (99%信頼限界)の冬期の最大の氷厚の0.8倍である。なおhの決定

に際して、十分なデータがない場合には、氷厚に関する各地域の公式を用いることを推薦している。前面が傾斜した橋脚に作用する氷力については、水平及び鉛直方向成分の氷力は次式に示される。

$$PH = A \cdot \sigma_f \cdot h^2 \cdot \tan \theta \quad (3)$$

$$PV = \frac{PH}{\tan \theta} \quad (4)$$

(3)・(4)式において、 σ_f は氷の曲げ強度でCrushing strength σ_c の50%とする。また θ は橋脚前面の水平面とのなす角である。また傾斜角 θ が $\theta > 75^\circ$ の場合は直立面とみなされ(2)式を用いる。また

(3)式で計算される氷力が(2)式で計算される氷力を越える場合には(3)式で計算される氷力を採用する。

4. 各国の設計基準の比較

ここで米国及びカナダの氷力式について検討してみる。(1)式中のCnは傾斜の効果であるが、著者等は同径の杭で同じ氷を用いて直立した場合($\theta = 90^\circ$)の氷力Fと傾斜している場合の水平方向氷力FH/Fと傾斜角 θ の関係を実験的に求めている。その結果が図1の破線である。この時Cnは同図で階段状に示される。同図より(1)式に採用されているCnは安全側で決定されているが、傾斜角 θ が小さくなるにつれて、過大な氷力になるようにCnが決められている。

ただ、著者等の実験においては傾斜構造物の材料(鋼)と氷盤間の動摩擦係数が0.1であるので、摩擦係数が大きくなると、基準の値に近づくことにはなる。次に(1)式に用いられる氷の有効強度は、与えられている7~28kgf/cm²の強度にCiを乗じたものを用いるべきで、このCiは多くの研究者により研究されている。次にソ連の基準について検討する。直立の橋脚の場合は(3)式で示されるが、断面形状の効果は米国等の式における形状係数を1.0と見なすと非常に近い値となっている。気候係数Aは地域によって、0.75~2.25の範囲で変化する。これは、強度に最も相関の強い氷温を示すパラメーターとも見なすことができる。

