

# 彙 報

第 28 卷 第 5 號 昭和 17 年 5 月

## 流 水 對 策

正會員 原 田 干 三\*

要 旨 北方河川の冬期の一般状態を述べ、該河川に木橋を架設せし場合流水に對し如何に對處すべきかをソ聯資料を參考として叙述せしものである。

### 目 次

1. 北方河川の冬期様相
2. 流水開始前の豫備作業
3. 流水期間中の對策

#### 1. 北方河川の冬期様相

ソ聯河川の結氷期間は、氣候條件其他に依據し年度により多少の差異はあるが、大體ソ聯歐羅巴部南方地域に於ては 2~4 ヶ月、中央地域に於ては 4~5 ヶ月、北方地域に於ては 6 ヶ月或はそれ以上である。

河氷の厚さは、冬期の溫度様相や積雪の深さに依據し、ソ聯歐羅巴部南方地域に於ては普通 0.30~0.70 m、中央及北方地域に於ては 1.0~1.6 m である。氷は激烈な寒氣が永く續くと厚さを増大することは明かである。又一般に小川は大河よりも早やく結氷するし、河川の同一斷面に於ては西の方が東よりも早やく結氷する。冬期の始めに著大な積雪があると、雪の不良熱傳導の爲、氷の厚さは減小する。又氷の厚さは流速が大なる場合には薄くなる。北方河川では往々河底迄凍結してしまふ事がある。又河の或る部分では——瀑布、急流部、早瀬では結氷をみない事もある。

結氷過程は靜止せる水溜りと河とでは差異がある。

靜止せる水溜りや流速の緩慢なる河では氷は表面より形成される。周知の如く、淡水は +4°C の場合最大密度を有する。水分子は溫度の低下するに従ひ、表面より冷却し、結氷し始め、冷却せる水分子は河底へ降下し、その場所に下方より暖い水分子を上昇する。水分子の斯かる交替は、水溜り内の水が何處でも同一の溫度 +4° になる迄繼續する。其後上部水分子が更に冷却されても、もう河底へ降下しない。水分子の溫度が零度以下に低下する時、個々の氷晶が形成され、微細氷に集合し、それから氷塊に結氷する。斯くて池、湖及極めて流の緩慢な河は凍結する。凡そ風は全面的な氷被形成を遅延するものである。

流速の大なる河は上記とは異なつた凍結の仕方をする。水の縦運動の外に横運動もあり、その爲水は全深さに互つて攪亂混淆し、實際的に全質量同一溫度となる。

故に寒氣襲來するや河氷は次第に冷却し零度或はそれ以下(-0.1, -0.2°C)ともなる。水の流は氷被が全面的に形成されるのを阻止する。水の全質量が零度以下に冷却される時に、多數の微細な氷晶、所謂微細氷が形成され始める。この微細氷は氷被の形狀をなして河岸に、入江に、又流の微弱な處に集合し、而して河に沿うて浮遊する。この氷被は互に凍着し合ひ、面積と厚さとを増してくる。斯かる氷は更に次第に凍着し合ひ一面の氷原となる。凡

\* 工學士 南滿洲工業專門學校教授兼滿鐵工務局勤務

その氷は先づ河岸に沿うて増大し、遂に、河は全く結氷してしまふのである。増水するや斯く形成されたる氷被は破碎し、流水が開始される。秋の流水の氷塊は薄い、堅硬で尖鋭であるから、橋臺、橋脚及木橋の氷除けに損傷を與へる害は割合に大きい。

或る河では結氷前に底氷が形成される。気温低き場合、若し河の流が早ければ、氷で覆はれんとする河表に突然下方より大きな不規則形な脆き氷塊が浮び上がる。底氷は河底が岩盤であるところ、堅硬土或ひは石のある個處に形成される。底氷は結氷開始を促進する事が多い。氷で覆はれた個處では、底氷は形成されないが、上流より送られて來て結氷下の流水断面を閉塞し、所謂水下溜水を生起する。

氷の厚さは普通岸邊が他の場所よりも薄い。これは河中の水温と岸の地温との差異から説明されよう。氷の厚さは冬が深まるにつれて成長して行く。

氷は弾性は大でないが、若干曲げに抵抗し得るから、氷被の耐荷力は個々別々の氷塊の耐荷力よりも大である。氷被は氷上渡河の爲の諸施設を設け得る。

鐵道車輛 1 臺に據る氷上枕木線路の載荷力は次式を以て決定し得る。

$$Q = \frac{\sigma_{\max} m h^3}{3(m+1)C(\alpha)}$$

茲に

$Q$ : 車輛重量 (或は自動車重量)

$m$ : ポアソン比の逆数にして、1.4-4.0 に採られる

$h$ : 氷厚

$C(\alpha)$ : 輪轉材料の長さに依據する應力指數

$C(\alpha)$  を 圖-1 より求めるに當り先づ次式より  $\alpha$  を決定する。

$$\alpha = \alpha l$$

茲に

$\alpha$ : 荷重分布の換算半徑  $\sqrt{a_1 a_2}$

$a_1$ : 氷上の縦材間隔の半分 (或は自動車車輪幅に採る)

$a_2$ : 荷重の縦方向分布の半徑、自動車基底の半分に採られる;

$$l \text{ 氷指數: } \sqrt[4]{\frac{m^2}{m-1} \cdot \frac{E h^3}{12}}$$

$E$ : 氷の弾性係數

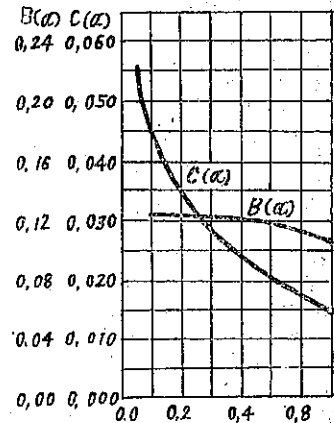
氷の弾性係數は、種々の因子により定値ではないが、温度零下 10-12°, 應力約 5 kg/cm<sup>2</sup> なる場合、50 000-60 000 kg/cm<sup>2</sup> である。氷の強さも、種々の因子例へば氷の構造、成因及温度に據るが、最大壓縮強度 18-70 kg/cm<sup>2</sup>、最大引張強度 5-18 kg/cm<sup>2</sup>、最大剪斷強度 6-13 kg/cm<sup>2</sup> である。

上記式により計算する場合、許容曲げ應力として  $\sigma_{\max} = 23 \text{ kg/cm}^2$  に採る。枕木を敷設しない場合 自動車の通行に對し  $\sigma = 11 \text{ kg/cm}^2$  に採られる。

ソ聯の實驗によるに、氷厚と渡河重量との關係は次の如くである。

氷厚 5-10 cm なる場合……2 m 間隔の歩行通過可能

圖-1.  $C(\alpha)$  及  $B(\alpha)$  値



氷厚 10~15 cm なる場合 ……3~4 m 間隔の 4 列歩行通過可能

氷厚 15 cm 以上 ……任意隊形の歩行, 行李通過可能

氷厚 30 cm 以上 ……自動車及トラクター通過可能

氷が荷重を受けし場合の撓みは次式より決定し得る:

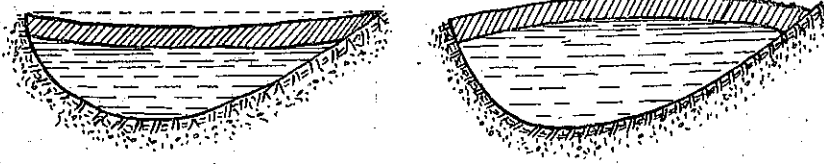
$$f = \frac{Q}{EI} B(\alpha)$$

茲に  $B(\alpha)$  は 圖-1 より得られる。

冬期河川の給養が次第に減少するに従ひ, 水位は低下し氷被は凹形に撓む (圖-2 a)。冬期可融地域を有する河の氷被面は水位の上昇時凸形に撓曲する (圖-2 b)。

圖-2. a 水位低下時の凹形撓

b 水位上昇時の凸形撓



春期温度上昇するに伴ひ, 雪及び土地は融け始め, 河は解氷し氷被は破碎される。

氷の破碎は次の 2 原因より行はれる: a) 氷は直接太陽光線, 暖風及雨に作用されて融ける: b) 暖い水が下方より氷を融かす。

流氷には次の 2 型式がある。

1. 河のある区域に於て, 低気温の爲, 氷被は尙堅硬なまゝであるのに, 上流流域では雪が融け始め, 増加せる流出量は流水断面を通過し得ず, 氷被は上方へ撓曲し, そして激しき音をたて, 破れる。そして氷被は個々の氷片に破碎される。この破碎は中央から始まり岸へと及ぶ。斯かる型式の流氷は南から北へ流れる河に見られる。

2. 氷被は暖い天気的作用を受けその場所で著大な部分に破碎する。斯かる過程は岸より始まり, 春の土地が早く且激甚に暖められる程, 氷を融かす力大にして, 又氷を岸から分離せしめる。更に, 雪が融けるに従ひ河中の流出量は増大し, 流水断面は増加し, 氷被は上昇する。氷被は移動し, 河に沿うて下方へ進行し, 破碎して個々の氷塊となる。

水位は流氷の際普通著しく上昇される。若し流氷が比較的低位の場合に生起するならば, 氷は橋梁上部構を損傷せず, 又氷除けも平水時の状態で働いてゐるから, 橋脚をよく防護する。

若し流氷が高き水位の場合に生起するならば, 氷は上部構を損傷し變形するし, 氷除けはその両尖部の上方に氷が登り来りて破壊される。

若し雪が緩慢に融け又春の気温が徐々に上昇する時には, 流氷は低位で生起する。これに反し, 若し春の気温が急速に上昇し, 又土がまだ凍結状態にあるのに全流域に互つて雪が迅速に融解する時, 又その上に暖風或は暖雨がある時には, 積雪は 2~3 日で融け, 極めて著大な春の洪水を惹起し, その際氷は洪水と同時に流下する。

流氷を構造物に及ぼす作用の程度より次の如く分類し得る。

A. 微細流氷——氷塊個々の面積は 4~5 m<sup>2</sup> 以下, 氷厚 0.50 m 以下, 氷は融解して強さを失ひつゝ, 氷塊は個々別々に順次流下する。進行速度は 0.6~0.7 m/sec.

B. 中等流水——氷塊個々の面積は  $15\sim 20\text{m}^2$  迄、氷厚  $0.5\sim 0.7\text{m}$ 、氷は融解して強さを失ひつゝ、氷塊は速度  $1.2\text{m/sec}$  を以て密集して流下する。

C. 強大流水——氷塊個々の面積は  $25\text{m}^2$  以上、氷厚  $0.7\text{m}$  以上、氷は堅硬にして  $1.2\text{m/sec}$  以上の速度で密集して流下する。

流水の際氷の累積を惹起することがある。若し氷が河を流れてゐる時、その進路途上障碍物に遭遇するならば、氷塊は停止し其後續いて來る流水を妨止する。

障碍物へ接近せる氷解は、後より押しかけ來たれる氷解の速度及壓力の作用を受けて、次から次へと積み上げられ氷の累積を形成し、河底迄深く又河表面上高く擴大して行く。

斯かる氷塊は、徐々數軒の長さ及びことあり、水位を  $2\sim 4\text{m}$  或はそれ以上も上げる。岸が高く累積が河の全幅に形成された時には、河底の氷間を流過する水の壓力及流速が大となり累積を切開く迄、水位は上昇を續ける。累積が決潰されるや氷及氷の全質量は非常な勢で突進し、構造物を脅威する。

岸が低く、河底や岸の土が脆弱である時には、氷は河底の累積下方にその進路を求め洗掘を生起し或は兩側に淺水池を造る。

氷累積が形成される原因として水路の特殊性と構造物の不適當配置とを擧げ得る。即ち河の急曲部、岸が崩壊して水路を閉塞せる處、淺瀬及島、水路の局部的狭小部等と橋梁徑間の大き不十分なる事、氷除けの配置不適當にして又その數過剰なる事により累積が生起する。

## 2. 流水開始前の豫備作業

北方河川に於て橋梁、棧橋其他構造物を築造せんとする場合、多年に亙れる綿密なる調査資料を基礎として計畫實施せねばならぬ。調査事項としては、冬季の性状と氣候の特殊性、結氷及解氷の開始期、流水面とその様相並に氷厚等である。尙それと同時に工事に必要なる材料、人員及經費を調査し對策を講じ置かねばならぬ。斯かる調査並びに對策を缺きたるが爲不測の費用及大損害を蒙りたる例多き故注意を要する。

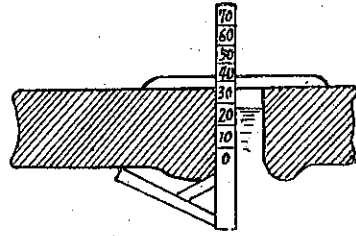
春の洪水や流水の開始されるに先立ち損傷個處は修理補強し置くを要すると共に、如何なる原因にて損傷を蒙りたるかを精査し、適策を講じ得る様絶えず研究的態度を以て努力を惜しんでならない。

調査に必要な器具として下記のもの常置し、適時使用するを要する。

1. 鐵鈎付木棒——木棒の先端に鐵鈎を付せるもので、長さ約  $3\text{m}$  である。これを以て橋梁下に浮泛する諸物體及氷塊を突き戻したり、方面を變へたり又誘導したりするのである。
2. 鐵冠付木棒——木棒の先端に尖れる鐵冠をかぶせしものにして、氷塊を破碎するに用ふ。
3. 木 棒——長さ  $2\sim 3\text{m}$  の木棒。
4. 鐵 挺——氷を穿孔するに用ふ。
5. 斧
6. 鋤
7. 繩と錘——長さ  $10\sim 15\text{m}$  の繩と重さ  $5\sim 8\text{kg}$  の錘：測量に用ふ。
8. 梯 子——橋梁により氷面へ降りる爲。
9. 燈 —— 夜業及信號用。
10. 小 舟——橋梁支間内の作業及氷除に對する作業に用ひ且救助用ともなる。
11. 救助用輪。

- 12. ロープと大綱。
- 13. 爆發作業に必要な装置。
- 14. 氷厚測定具(圖-3 参照)。

圖-3. 氷厚測定具



流水並にそれに附帶して生起する洗掘及橋梁・橋脚・橋臺の損傷に對し、準備し置くべき材料としては次の如し。

- 1. 梁材及板——作業一般に必要。
- 2. 石、灌木、束柴、藁及び袋(粘土或は沈泥砂土入)——これ等の材料は高水位にて氷が累積する際、橋臺・橋脚の底が洗掘されるのを防止するに用ふ。
- 3. 爆發材料——後記参照。

これ等材料の準備すべき量は、各橋梁により又地方的條件により著しき差異があるが、不測の突發事件に備へて十分用意し置くべきである。

冬期水位の變動する河に架せる木造橋梁は、杭柱で出來た橋脚及氷除けの周圍の氷を切開いて置かねばならぬ。然らざれば水位が上昇する場合杭柱に凍着せる氷は杭柱を仕上げ引抜くからである。

氷を切開く作業は、圖-4 の如く、橋脚及氷除けの杭柱の周圍に幅 0.5~1.0m の溝を造るのである。この溝は冬期を通じて結氷しない様配慮する。この切目が凍結せず或ひは凍結しても緩徐である様に次の如き防凍法を講ずる。圖-5 a は切目の上に粗朶或は棒片を置き、更にその上を馬糞或は藁で覆ひしものであり；圖-5 b は切目内に粗朶小枝を挿入し、その上を馬糞或ひは藁で覆ひしものである。

圖-4. 杭柱橋脚周圍の溝の配置圖

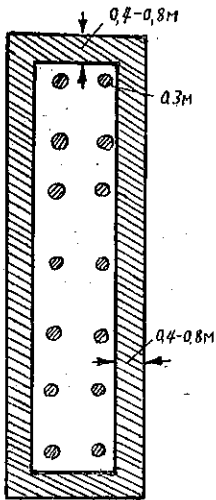


圖-5. 溝の防凍法

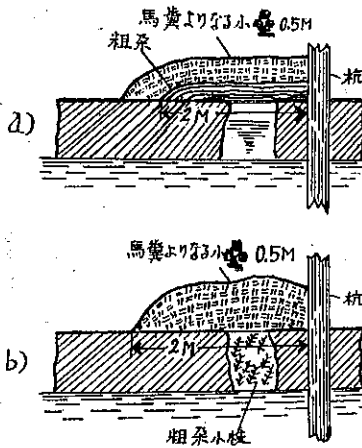
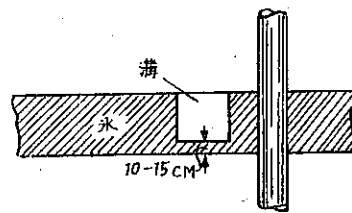


圖-6. 溝の穿鑿順序を示す、水の浸入を防ぐ爲最初貫通せず



溝は両面鶴嘴及尖銳鐵挺で以て穿鑿する。雪や氷は鋤で片付ける。穿鑿する場合溝の深を全體を一度に貫通させてはいけない。何故なら水が溝に上がつて來て、其の後の作業を困難ならしめるからである。圖-6 の如く、溝の底の 10~15 cm は暫くそのままに維持する。

冬期水位が變動しない河に架せし橋梁にあつては、水位の上昇が豫期される流水開始前に、氷を切開き溝を造ればよい。

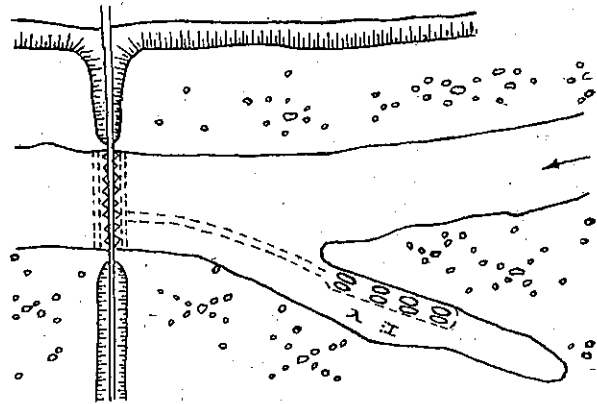
浮橋（筏橋及解橋）は冬の到来するや河より解離し片附けるか、全冬期間浮遊のまま存置する。前者の場合には橋梁は河の結氷が開始されるや解離する；従つて兩岸の交通は直接結氷せる河水上に於て行はれる。解離されたる浮橋は流水の危険なき入江に導くか或ひは岸に沿うて並べて置く。

後者の場合には浮橋は冬中働くのであるが、流水期が近づき氷が弱くなれる時、安全な場所へ高水の低下する迄一時避難させる。流水前浮橋を片附ける爲橋梁の周囲の雪を除去し、結氷中に切目を造り、筏或は解を氷被から引離す。浮橋を入江に導く爲には、水中に筏の幅に適應したる幅の溝を造る（圖-7 参照）。

筏を入江に導入し得ない場合には、それを岸迄運搬し、更に春の洪水位以上の高さの岸上に置く。一時浮橋を撤去せる洪水期間中の交通は渡舟を用ひて行ふ。秋の流水時には浮橋は全部を片附けて岸へ導くか或ひはたゞ中央部のみを分解して氷を通過せしめる。この一時分解せる橋梁材料は岸上高水位以上の場所に置いておく。

次に潜橋に就いて附言しよう。潜橋はその板張面が流水の最低面以下に在るが如く配置する。氷と板張との間隔は、上方を通過する氷が橋梁を擦らないやうに、20~30 cm 空けて置かねばならぬ。潜橋の縦梁及板張は、水により浮昇するのを避ける爲に、鐵製緊締材を以て杭柱橋脚と緊結する。斯かる目的の爲には全支間に石を以て板張する事が推奨される。橋梁の欄干は除去される。流水が開始される前に橋梁の前後夫々 20~30 m の部分の河水は除去し、その氷片は下流水被下に流下せしめる。橋梁の上流側に“緊結材”を設ける。この緊結材とは堅牢な梁材であつて、杭に傾斜して取付けられ橋脚と鐵箍で以て緊結されてゐる。この緊結材の作用は低水位の場合橋梁に押しかかる氷塊を滑らせるのである。

圖-7. 浮橋を入江へ導入（圖中點線は氷被内の切開溝を示す）



### 3. 流水期間中の対策

流水及春の洪水に對處すべき作業要項としては次の如し。

- 氷被を弱小にし、その橋梁及氷除けに及ぼす壓力を減小する事
- 氷塊を破碎し、又氷塊が橋梁に衝突するを防止しつゝ橋梁徑間内に導く事
- 氷の累積を除く事
- 橋梁徑間内へ大なる浮遊物體を入れしめぬ事
- 河の水位の變化及橋梁附近河床の洗掘状態を觀測する事
- 橋臺・橋脚に洗掘を生ぜしめざる事

石造橋脚を有する橋梁や大徑間の橋梁に對しては、流水は木橋や小徑間の橋梁に對する程脅威を與へない。故に上記各項は専ら木橋に對して必要なのである。

氷が運動し始める際その橋梁に及ぼす壓力を弱小ならしめるには、橋脚及氷除けの上流 10~20 m の處に切目を造る事によつて達成し得る（圖 8 参照）。

氷の厚さ著大なる場合又橋梁が老朽なる場合に強力なる流水が豫期されるならば、氷被を更に大面積に互つて弱

小ならしめる。橋梁径間内及氷除け間の氷被全部と橋梁の上・下流 20~30 m の氷被も縦及横の切目により分割する。

特に危険と思はるゝ場合には、流水前橋梁架渡部附近の氷被を除去してしまふ。この除去すべき範圍は、橋梁の長さによるが、橋梁の上・下流 100 m 或はそれ以上にも及ぶ。除去は橋梁の下流より行ふ。氷被を縦横の切目で以て分割し、次に更に小なる氷塊に割る。そして小氷塊は下流の氷被下へ棒で以て押し流す。河が深く流速が大である場合には押し流せるが、然らざる場合には氷塊を氷被上に小櫃で以て引摺上げる。

氷除去は、圖-9 に示す如く、先づ橋梁部の下流下方より始め上方に及ぼし（影線部）次ぎにそれより更に下流部と上流部の氷被を爆發によつて破碎する。

圖-9. 橋梁部の氷被除去状態を示す

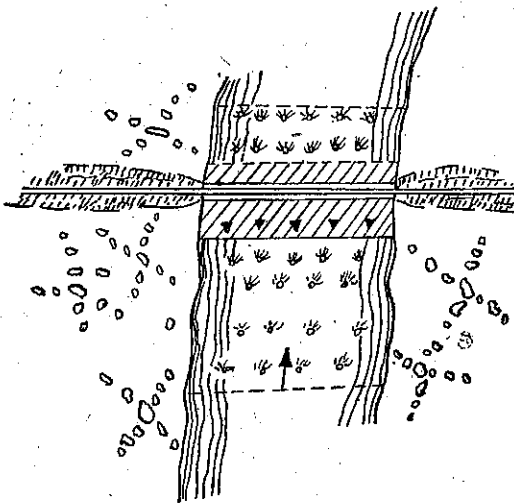


圖-8. 橋脚及氷除けに對應して橋梁の上・下流に縦切目を造る、壓力特に大なる場合には横切目をも造る

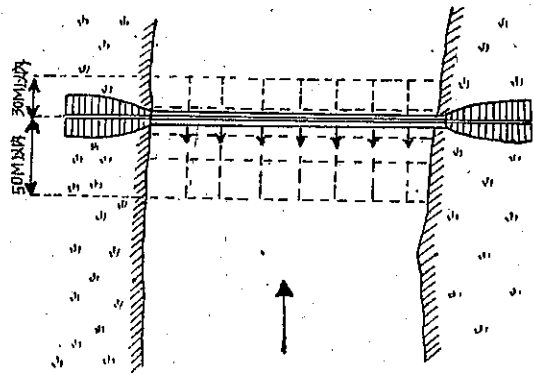
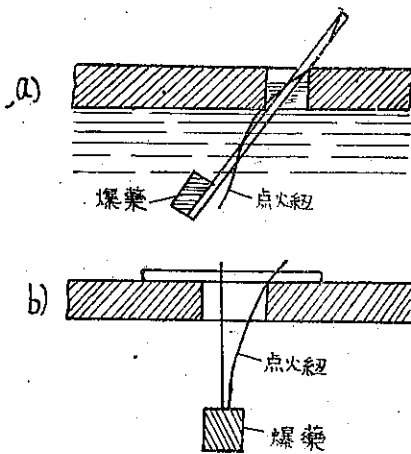


圖-10. 水下爆藥裝填圖 a. 棒; b. 吊下



橋梁部に直接接する部分の氷被は斧、鶴嘴、鐵鋸及鋸を使用して除去する。氷厚が 25 cm 以上なる場合には、橋梁下部は例外とし、爆發法によるがよい。爆藥は氷の下に裝填し基礎目状に配置する。爆藥は氷内へ小孔を貫通せしめ棒（圖-10 a）或は吊下（圖-10 b）により裝填する。爆藥の氷上表面よりの深さは、氷厚の 2~3 倍である。爆藥相互間隔は裝填深さの 5 倍である。表-1 は氷下に裝填する場合の爆藥重量を示す。

氷を橋梁下方へ導く作業の主要目的は、浮游せる氷塊が橋梁に及ぼす壓力及衝擊を除去すること及氷累積の形成されるのを排除することである。最も重大時機は流水開始時である。その時氷は全面的に流下するからであつて、殊に氷被が厚い時は著大である。橋脚や氷除けに寄り掛かれる氷塊或ひは橋梁径間下に 停留する氷塊を棒や鉤竿で以て適當な道程を経て橋梁下方へ押しやる事が必要である。即ちこれ等氷塊は橋脚より径間中央へ誘導し、又氷

表-1.

氷 厚 m	爆 薬 装 填 深 さ								
	1m			1.5m			2m		
	爆 薬 重 量 kg								
	火 薬	アムモ ナール	微細爆發物	火 薬	アムモ ナール	微細爆發物	火 薬	アムモ ナール	微細爆發物
0.2	2	1.5	1	4	3	2	8	6	4
0.3	3	2	1.5	5	4	2.5	9	7	4.5
0.4	4	3	2	6	4.5	3	10	7.5	5
0.5	5	4	2.5	7	5	3.5	11	8	5.5
0.6	6	4.5	3	8	6	4	12	9	6
0.7	7	5	3.5	9	7	4.5	13	10	6.5
0.8	8	6	4	10	7.5	5	14	10.5	7
0.9	9	7	4.5	11	8	5.5	15	11	7.5
1.0	10	7.5	5	12	8.5	6	16	11.5	8

除けの刃尖部で破碎された氷塊も中央部へ向けしめる事が必要である。橋梁径間を自由に通過し得ない様な巨大氷塊が橋梁へ近づいて来た場合には、鐵挺や鉤竿で打碎き或は爆發する。氷塊が偶然径間に丁度はまりこんだ場合は速かに手力で以て打割らねばならぬ。

橋梁に近づき来る巨大氷塊を分割するには、前述の如く、氷下に爆薬を装填する爆破作業によるか、氷表面に装薬する方法によるか、或ひは小舟より又は橋梁より或ひは又氷除けに附設された小廣場より氷面へ爆薬を投擲する方法による。氷表面に設置する爆薬或は投擲爆薬の重量は、氷厚に依據し且爆發實驗の結果より、1~5 kg. に製造する。近づき來たる氷塊を爆破する場合は總て、氷塊が橋梁へ接近する迄に爆破を行ふを要し、橋梁上部構への影響範囲内では絶対に爆破を行つてはならぬ。

流氷と共に、北方河川内構造物に重大なる影響を及ぼすものは春の洪水とそれに隨伴する洗柵であり、それに對しても十分なる對策を攻究しなければならぬ。