

人が歩いたプレストレストアイスビーム橋の設計と製作

日本大学 学生 浅井 秀亮

日本大学 教授 関 文夫

1. はじめに

一般にプレストレス技術は、高速道路のPC橋に用いられている技術で、圧縮強度の高いコンクリート部材にプレストレスを与え、構造を成立させている。そのプレストレス技術を利用して、新たな構造物への適用を検討している中で、ブロック氷を用いた橋梁が発想された。ブロック氷は、重量が重く、低強度かつ低弾性係数の材料であるため、基礎実験として、軸圧縮強度、摩擦係数などの氷の物性値を計測した。ここでは、これらの基礎実験の結果及び設計、実際に完成したプレストレストアイスビーム橋を報告する。

2. 基礎実験

(1) 圧縮試験

圧縮試験(写真-1)では圧縮試験機(株式会社東京衡機試験機、最大荷重:3000kN)を用い、一貫氷(110×130×260mm)が破壊するまでに試験



写真-1 圧縮試験

機が示す最大荷重を計測し、氷の圧縮強度を導き出した。試験では一貫氷の110×130mmの面に圧縮力を与えた。その結果、圧縮強度は1.09N/mm²であることが判明した。

(2) セン断試験

せん断試験(写真-2)では万能試験機(株式会社東京衡機試験機、最大荷重:1000kN)を使用し、供試体(写真-3)に荷重を载荷した。供試体は二貫氷(220×130×260mm)を3つ並べ、中央の氷だけ上に60mmずらした状態でプレストレスを与え固定する。プレストレスはφ18mmのねじ棒4本を用い、圧縮力を計測した上で木材の定着体で挟み込み、ボルトを締めた。鋼棒1本には5kNの軸力(圧縮力)を与え、合計で20kNの圧縮力を氷の両端からかけた状態である。試験時は中央部分の氷にのみに荷重を载荷するものとした。荷重と荷重により発生した氷の変位をデータロガーと変位計で測定し、氷の静止摩擦係数と動摩擦係数を算出した。その結果、図-1のグラフが得られた。荷重15.8kNで氷に大きな変位が生じ、氷の動摩擦係数は0.12、静止摩擦係数は0.39であることが判明した。



写真-2 セン断試験



写真-3 供試体

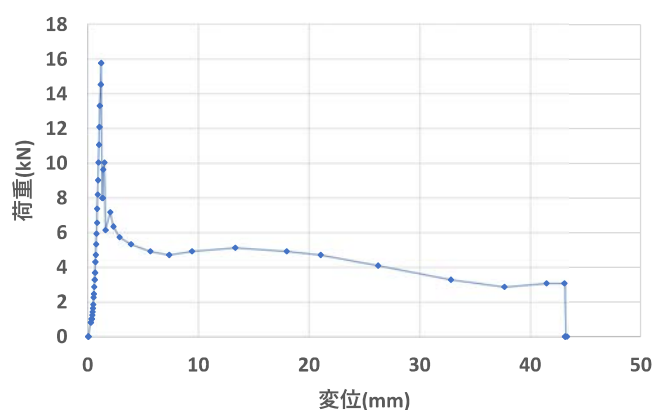


図-1 供試体にかかる荷重と氷の変位

3. 設計

(1) 規定寸法

設計では二貫氷(220×130×260mm)を使用する。この寸法をもとに図面(図-2)を製作した。二貫氷を24個並べ、橋の全長は3120mm、支間長は2990mm、幅員は220mmである。

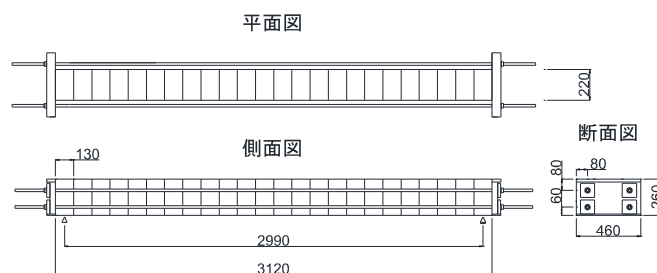


図-2 氷橋の図面

(2) 荷重

氷は単位体積重量10kN/m³と比較的重い材料である。载荷条件は死荷重0.57kN/mに加え、桁中央に活荷重1kNを载荷する。このとき2つの支点に発生する反力は1.39kNである。

(3) プレストレス

プレストレスの与え方は基礎実験のせん断試験に使用した供試体と同じ、ねじ棒を用いた方法を採用している。過度な圧縮を与えると氷の破壊応力

キーワード ブロック氷、歩道橋、氷の物性値、プレストレス、縁応力度、偏心
連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14 タワースコラ1108

1.09N/mm²を上回り、氷が破壊されるため、設計では繊細なプレストレスのコントロールが求められる。

(4) 構造計算

構造計算では主に二貫氷に発生する縁応力と偏心(プレストレスを与える位置)に注目した。偏心を利用し、氷に発生する圧縮縁応力を抑え、理想的な縁応力を造り出した。死荷重の状態と、設計荷重の状態、双方の状態が発生する縁応力が破壊応力を超えないよう圧縮を与える位置を決定し、適切な圧縮力と偏心で氷プレストレスを与える必要がある。図面上、偏心の位置は上下に分かれているが、計算ではそれらの中心の位置を偏心の数値として使用する(図-3)。

図-4 は氷両端から 40kN の圧縮力を受けている状態での、偏心による氷の縁応力の変化を表した図である。青色のグラフが氷の断面上部の縁応力、オレンジのグラフが氷の断面下部の縁応力を表し、設計荷重時が载荷した状態でのグラフを実線、死荷重時の

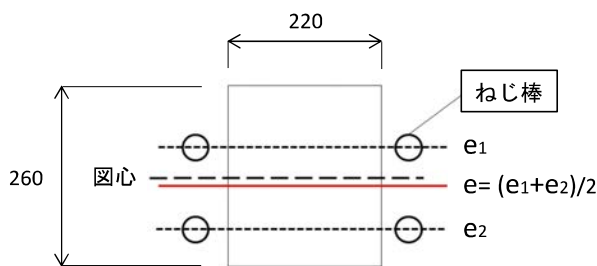


図-3 ブロック氷の断面と偏心の位置

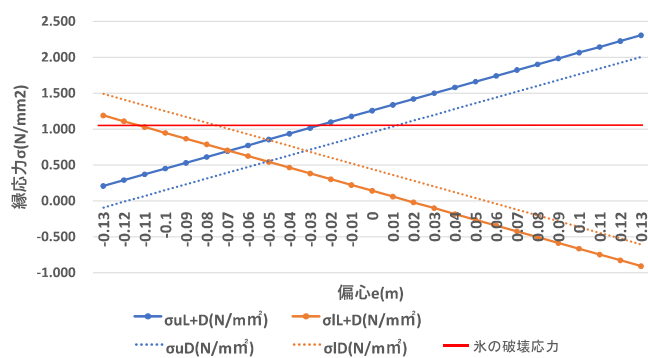


図-4 偏心による縁応力の変化

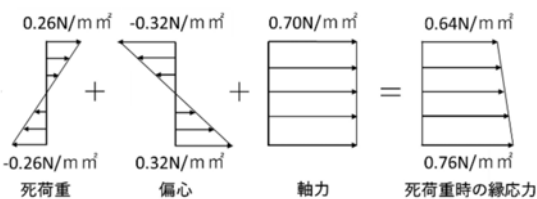


図-5 最終的な縁応力(死荷重時)

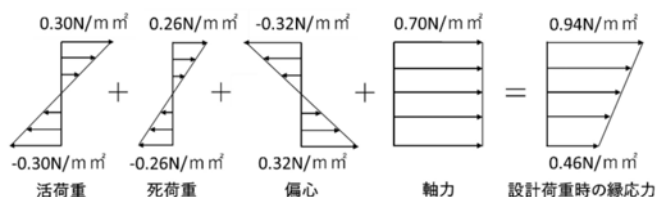


図-6 最終的な縁応力(設計荷重時)

状態でのグラフは点線で表している。これら 2 つのグラフの縁応力の数値が図の赤い線の数値(氷の破壊応力 1.09N/mm²)以下になる範囲で偏心を決定する。最終的な偏心は氷中心から下 40mm の位置に設定。縁応力は図-5 と図-6 の数値となった。

(5) 製作

構造計算により得た数値から、図面通りの橋を製作し、プレストレストアイスビーム橋は空中に自立した。氷は温度上昇により体積が縮小する材料であるため、ボルトを 30 分間隔で締め直しプレストレスを与え続けた。当日は気温約 20℃、湿度 46%の中、野外で 2 時間 05 分の間、その構造を維持し、人を渡らせることにも成功した。

4. まとめ

写真-4 のように氷橋中央のたわみが倒壊につながることを確認できた。この倒壊のプロセスはクリープによる構造物の破壊のように見える。氷を使えば、コンクリートでは何年にかかるクリープ現象を短時間の内に観察できると考えられる。

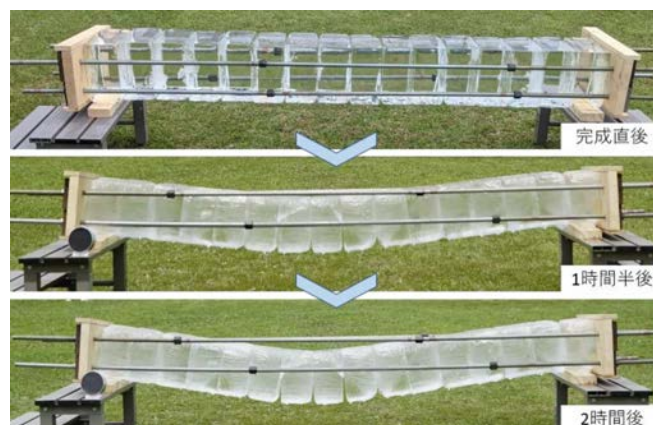


写真-4 氷橋倒壊の過程

また、氷橋が倒壊した後、材料である氷(写真-5)を見てみると節理状にバラバラになっていた。これは氷が高軸力の圧縮を受け続けた結果であると考えられ、マグマが冷却固結する際や地殻変動の際に生じるものと形状が似ている。



写真-5 橋が倒壊した後の氷

参考文献

- 1) 石本敬志：氷の破壊強度，1990 年 2 月
- 2) 安留哲，荒川政彦，前野紀一：氷・氷の摩擦係数の測定，1999 年 7 月