

吊橋主ケーブル断面温度の推定法と補剛桁標高への影響

アサノ大成基礎エンジニアリング

正会員 梅本 幸男

1. 概要

長大吊橋補剛桁の標高が日照や大気温度変化によって変位することはよく知られているが、その状況を調査した例はあまり発表されていない。筆者は長大吊橋の形状計測業務に携わった時に、日照や大気温度によって主に主ケーブルが影響を受けそれにより補剛桁の標高が想像以上に大きく変位していることを確認した（文献1）。これらの変位量は吊橋の大きさからみれば微々たる値ではあるが、主ケーブル温度を適切に評価しなければ実形状を把握できないこともあり、安全性の判定を左右する可能性もあると考えた。

そこで、日照や大気温度変化を受ける主ケーブル温度の推定方法を検討するとともに、それによる補剛桁の標高変位を実測で確認した。

2. 主ケーブル断面温度の推定方法

補剛桁の標高に大きく影響するのは主ケーブルの温度変化による伸縮であり、その伸縮を左右する温度は表面温度ではなく断面の平均温度であることは明らかである。しかし、物理的に断面内部の温度を計測することができない。何故なら、主ケーブルは直径約 5mm の鋼線を約 1 万本以上束ねた直径約 700mm（空隙率 16~20%）の円断面形の構造物であるからである（調査した吊橋の例）。

ここで、断面方向に切断した主ケーブル要素に着目すると、軸方向に隣接したA、B両要素は同じ温度環境にあるため軸方向には熱伝導せず、表面～断面中心間の熱伝導しか発生しないはずである（図-1）。

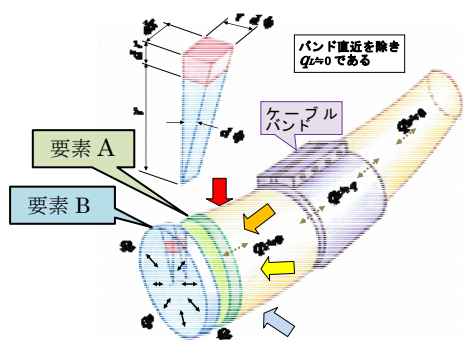


図-1 主ケーブルの熱伝導概念図

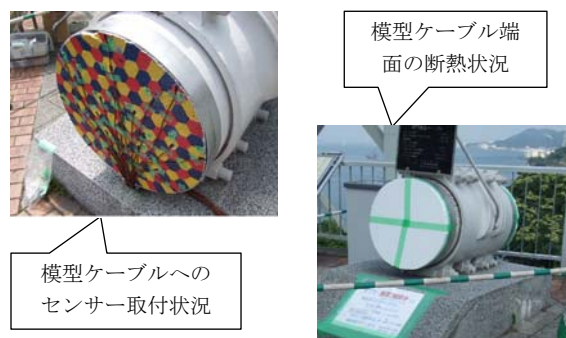


図-2 模型ケーブルの温度計測状況

そこで主ケーブル模型の両端面に断熱材を取り付け端面からの熱伝導を遮断して、表面（8点）と断面（25点）の温度を 30 分間隔で数日間連続して計測した（図-2）。

こうして求めた模型の表面温度をもとに断面内部の温度を 2 次元熱伝導解析で求め、実断面温度と比較した。その結果、空隙率を考慮して解析したもの、断面平均温度は実断面平均温度とは一致しなかった。これは、実ケーブルでは鋼線が互いに線接触（図-3 赤枠内の赤線で示す）していることから十分な熱伝導を担っていないと考えた。そこで解析で求めた断面平均温度と実測断面平均温度が同値となるような平衡係数を導入することにした。

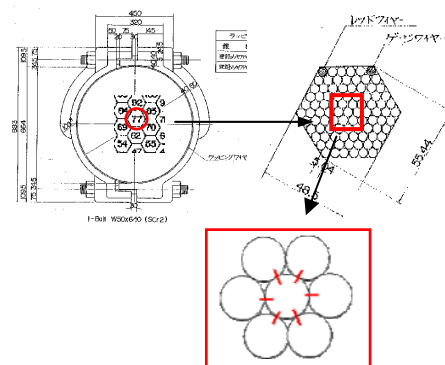


図-3 主ケーブルの断面構造

キーワード 長大吊橋, 維持管理, 主ケーブルの温度計測法, 温度による形状変化

連絡先 〒812-0872 福岡県福岡市博多区春町1丁目6番6号 (株)アサノ大成基礎エンジニアリング TEL092-571-5681

つまり、実主ケーブルの断面平均温度は、ケーブル周囲の表面温度をもとに断面形状、鋼線と被覆材料の熱伝導率、空隙率および平衡係数を考慮した熱伝導解析によって求めることにした。

この平衡係数（ k ）は主ケーブル内部への熱伝導の程度を示す値であり、大きな値ほど熱伝導しやすく昼間は実温度以上に高く、夜間は実温度より低くなりやすい。調査した吊橋の主ケーブルにおいては解析温度と実温度がどの時間帯においてもほぼ同値を示す 0.07 であることが確認できた（図-4）。

主ケーブル表面から内部へ熱伝導するためには有る程度の時間が必要となるが、この吊橋では解析で得た断面温度と実断面温度との差を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の範囲（最大誤差約 5mm）に収めることを目標にした結果、温度計測開始から約 6 時間経過すればよいことを確認した（図-5）。

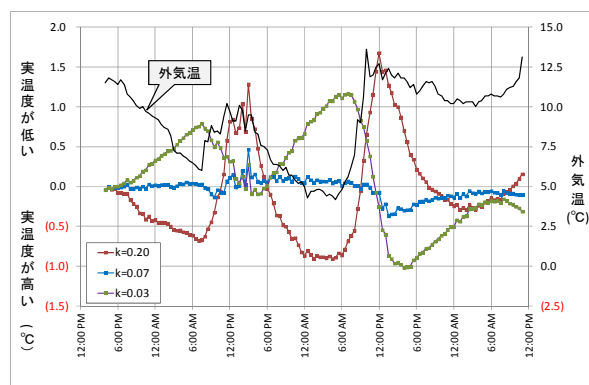


図-4 平衡係数の検討図

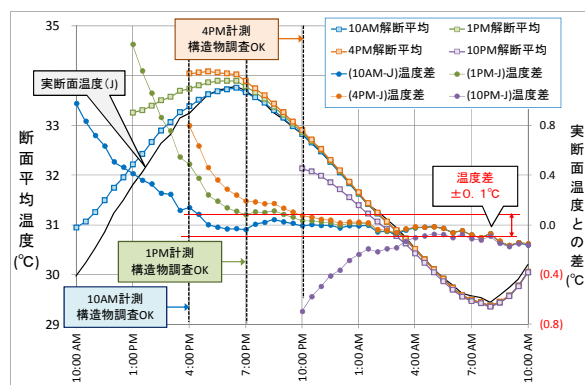


図-5 温度計測を始める時刻の検討

3. 補剛桁標高の調査結果

ここでまとめた手法（提案手法）による温度結果をもとに、中央径間中央点（ $Lc/2$ 点）の補剛桁標高を補正した（図 6）。深夜から早朝にかけての時刻ごとの補剛桁の無載荷状態標高^{文献 2)}はこれまで主ケーブルの表面温度だけで補正した場合（従来法）に比べ標高平均値で 51mm 程度の差が生じた。また提案手法は従来法に比べ標高のばらつきが小さくなっていることも確認できた。

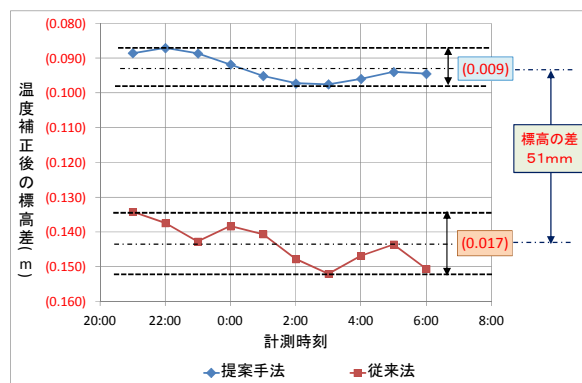


図-6 補剛桁 $Lc/2$ 点の理論標高との差

4. まとめ

補剛桁標高を調査して吊橋の安全性を判定するためには、主ケーブルの断面温度を実状にあった方法で推定して温度補正することが必要である。こうすることにより温度条件が安定している季節や夜間に限ることなく昼間や緊急事態発生後等にも、実状に極めて近い補剛桁標高値を把握することが可能である。

この手法において主ケーブル断面温度を推定するための平衡係数は、吊橋主ケーブル特有の値であるため事前のシミュレーションによって求めておく必要がある。

なお、実主ケーブルの温度計測の開始時刻と補剛桁標高の調査時刻については、両者の時刻差によって発生する誤差を考慮して決定する必要がある。なお、この手法を緊急事態発生後に適用できるようにするためには、時刻差をなるべく短縮できるような方法を検討する必要がある。

この報告が長大吊橋の維持管理において何らかの参考になれば喜びである。

参考文献

- 1) 梅本、栗野、古川：吊橋形状（標高）計測における再現性の確認、2008 年度土木学会西部支部研究発表会 I-33
- 2) 梅本：長大吊橋補剛桁の無載荷状態標高を得る手法の提案、平成 23 年度年次学術講演会 I-110