

吊橋主ケーブルの平均温度推定に関する実際上の問題点とその方法

広島大学 正 大村 裕
 広島大学 正 藤井 聖
 広島大学 学 O 野村 誠

1. 序論

一般に、主ケーブルのサグ値は高い精度が要求され、これが正確でないと完成形状に大きな影響を与え、補剛桁に二次的な応力を発生し、望ましくない結果を招く。そして、大径の主ケーブルを持つ吊橋では、主ケーブルの温度推定誤差によるサグ誤差が大きく現われることが、言われている。本論文では、架設途上の吊橋主ケーブルの温度推定について考えられる問題点を、指摘、検討し、さらに簡単な実験を通して、主ケーブル温度応答解析法において必要とされる温度物理値について、検討、考察を加えるとともに、合理的、経済的な測定システムおよび主ケーブル温度応答解析法について、検討、提案するものである。

2. 非定常温度応答解析法

等方、等質な断面の2次元非定常熱伝導方程式および初期条件は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} C\rho\frac{\partial u}{\partial t} &= \lambda\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + Q \\ u &= u_0 \quad \text{at } T=0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(u : 温度, C : 比熱, ρ : 密度, λ : 熱伝導率, Q : 発熱強度, u_0 : 初期温度)

そして、境界条件としては、次のような2種が考えられる。

(i) 「Neuman型の境界値問題」——境界線の領域 S_1 上の熱量の出入

$$q = \hat{q} + \alpha(u_{\text{ext}} - u_t) \quad \text{at } T=t \quad (2)$$

(ii) 「Dirichlet型の境界値問題」——境界線の領域 S_2 上の温度分布

$$u = \hat{u} \quad \text{at } T=t \quad (3)$$

(α : 熱伝達率, u_{ext} : 外気温, u_t : 境界辺 S_1 上の温度, $\hat{q}$: 日射などによる熱量, $\hat{u}$: 境界辺 S_2 上の温度)

また、式(1)を適当な形状関数 $u(x, y, t) = \{N\} \{u(t)\}$ によ、て離散化し、有限要素法への定式化を行なえば、要素について次式が与えられる。

$$\left. \begin{aligned} [M] \{\dot{u}(t)\} + [K + P] \{u(t)\} &= \{Q(t)\} \\ [M] &= \iint [N]^T [N] dx dy, \quad [K] = \iint \left\{ \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} \right) \lambda_x + \left(\frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \lambda_y \right\} dx dy \\ [P] &= \frac{C\rho}{\Delta t} \int [N]^T [N] ds, \quad \{Q(t)\} = \frac{C\rho}{\Delta t} \int (\alpha u(t) + \hat{q}(t)) [N]^T ds \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

さらに、この式を用いた全断面についての解式は次のようになる。

$$[M] \{\dot{u}(t)\} + [K + P] \{u(t)\} = \{Q(t)\} \quad (5)$$

ここで、式(5)左辺第1項に後退差分 $\{\dot{u}(t)\} = (u(t) - u(t-\Delta t)) / \Delta t$ を用いて解析した。

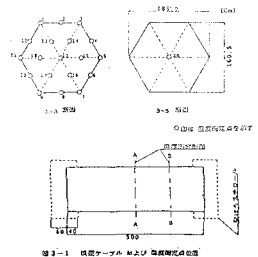
3. 実験模型および実験方法

実験模型ケーブルの表線数は1027本その他の諸元は図3-1、表3-1に示す。

実験方法としては、恒温室内実験および屋外実験を行なった。そして、前者の結果をもとに、式(3)、式(5)によ、て有限要素法解析を行ない、熱拡散率 $k (= \frac{\lambda}{C\rho})$ を試算し、容易に $k = 16.0 \text{ cm}^2/\text{hr}$ を得た。

全線数(1027本の部材数)	径(φ)	長さ(L)	重量(W)
1027	20.0	10.0	10.0

図3-1 実験ケーブルの諸元



4. 数値解析例および模型実験例による検討・考察

外気温がsin波(周期= $\frac{24}{n}$ hr)で与えられる場合の温度応答解析結果(厳密解)と、有限要素法による解析結果との比較を、図4-1に示す。これより、半径方向分割数(等間隔)を10、積分時間間隔(ΔT)を0.25 hrにとれば、外気温振幅1degに対し、誤差の値は最大で0.02degであり、厳密解と有限要素法解析解は、非常によく近似していることがわかる。

次に、屋外実験により得た表面温度を「Dirichlet型の境界値問題」として解析した結果と、内部測定値との比較を図4-2に示す。さらに、解析されたケーブルの平均温度と実測による表面温度の平均値と外気温を図4-3に示す。ここで、要素分割は図4-4で、積分時間間隔は2.0hrとした。これより、有限要素法による「Dirichlet型の境界値問題」としての解析解が、実用上十分な精度を満足し、日射、輻射などの影響が考慮された解析が可能であると思われる。

また、図4-5に、初期温度分布仮定誤差の影響が時間を経るにつれて低減されていく状況を、平均温度について図示する。この図から、解析あるいは架設現場での測定作業の所要経行時間は、合理的に把握できると思われる。

最後に、測定された主ケーブル表面温度を境界条件として、有限要素法により、主ケーブル平均温度を解析する場合に、実際に適用可能な測定システムおよびデータ分析システムの一例を示すと、図4-6のようになる。

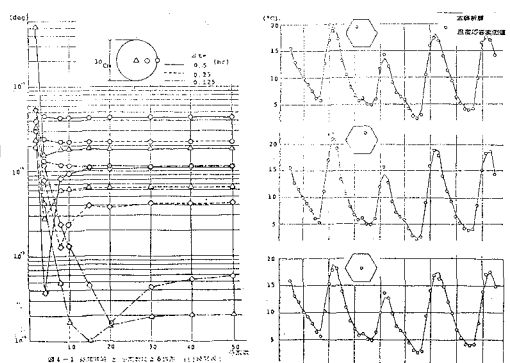


図4-1 温度応答解析結果の比較

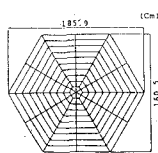


図4-2 表面温度と内部測定値の比較

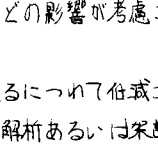


図4-3 ケーブルの平均温度と外気温

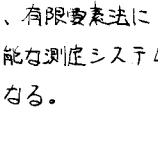


図4-4 要素分割図

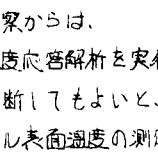


図4-5 初期温度分布仮定誤差の影響

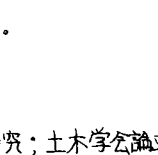


図4-6 測定システム・データ分析システム

5. 結論

種々の数値解析結果および模型実験結果に対する検討・考察からは、「Dirichlet型の境界値問題」として有限要素法による非定常温度応答解析を実行すれば、合理的に実際問題に対処することが可能であると判断してもよいと思われる。そして、この非定常温度応答解析に用いる入力データは架設現場における主ケーブル表面温度の測定結果から容易に求められ、測定およびデータ分析システムについても簡単なシステムで十分であると思われる。なお、本文が長大吊橋の主ケーブル温度推定法の確立のための一資料とないば、幸いである。

〔参考文献〕

- 1) 原田、長谷川；吊橋ケーブルの温度応答に関する研究；土木学会論文報告集，オ251号，pp17-27，1976，7
- 2) 大谷、頭井、新家；吊橋主ケーブルの架設途中における温度応答特性について，土木学会オ33回年次学術講演会講演概要集，pp184-185，昭和53年9月
- 3) 大地、前田、藤井；有限要素法による吊橋主ケーブル温度応答解析法，日本鋼橋協会オ13回大会研究集会マトリックス解析法研究発表論文集，昭和54年6月
- 4) 頭井、大谷、新家；吊橋主ケーブル平均温度算定に関する一計算手法，土木学会オ34回年次学術講演会講演概要集，pp145-146，昭和54年10月