

## 温度を考慮した斜張橋架設精度管理法と ケーブル温度計測の一提案

A CABLE TENSION ADJUSTMENT METHOD FOR CABLE-STAYED BRIDGES CONSIDERING INFLUENCE OF TEMPERATURE  
AND PROPOSITION FOR THERMAL MEASUREMENT SYSTEM FOR CABLES

\* \*\* \*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\*\*  
亀井正博・福本和弘・松下泰弘・古田 均・中井 博

By Masahiro KAMEI, Kazuhiro FUKUMOTO, Yasuhiro MATSUSHITA, Hitoshi FURUTA, and Hiroshi NAKAI

A cable tension adjustment is conventionally carried out in the late night to eliminate the influence of temperature. Therefore, this work becomes hard and dangerous ones for the bridge engineers. For decreasing these kind of works, it is necessary to develop cable tension adjustment system which is enable to perform in the day time by avoiding the influence of remarkable thermal changes in the day time. Discussed in this paper is the simulation results due to the influence of temperature by using the analytical models. And, these results are compared with that of a Fuzzy System Identification method(FSI). In consequence, it is required to measure the temperature of cables appropriately to realize the day time cable adjustment. Finally, also proposed is the cable temperature measurement system by utilizing the fiber optic thermometers.

Key Words: cable-stayed bridge, cable tension adujstment,  
cable temperature, fiber optic thermometer

### 1. まえがき

斜張橋では、ケーブルの導入プレストレス力を調整することにより、主桁の曲げモーメントを均一化することができる。したがって、最適なケーブル張力を決定することにより合理的に斜張橋を設計することができる。しかし、実際には、製作・架設の各段階で種々な誤差が累積し、設計値どおりのキャンバーやケーブル張力を確保することが極めて難しい。架設精度を向上させるためには、架設系、および完成系のキャンバーやケーブル張力に与える誤差要因を分析しておき、架設途上においてケーブルの最適な位置決めをするためのシム調整の実施が、不可避となる。

ところで、ケーブル張力を調整するためには、架設途上で主桁や塔の変位、およびケーブル張力を計測しなければならない。この作業は、通常、温度変化の影響が入らないように、橋全体の温度が一定となる夜間実施されている。しかし、計測→シム調整→計測の一連の作業は、徹夜作業となる。しかも長大橋になれば、それらの作業が何週間も続くので、労働条件は、著しく過酷なものになる。そのためには、昼間の橋体温度を正確に把握し、昼間の架設管理を可能にする必要がある。

\* 工修 大阪市建設局 街路部立体交差課 主査 (〒530 大阪市北区梅田1丁目2番2-500号)

\*\* 工修 日立造船(株) 橋梁設計部橋梁一課 (〒592 大阪府堺市築港新町1丁5番1)

\*\*\* 日立造船(株) 橋梁設計部橋梁一課 (〒592 大阪府堺市築港新町1丁5番1)

\*\*\*\* 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

\*\*\*\*\* 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

筆者らは、ファジィ理論を用いた構造同定法を応用することによって、温度の影響を除外する方法（以下、温度同定法と呼ぶ）に関する研究・開発を進めてきた。この方法を適用する場合、正確な橋体の温度についての情報が必要になる。しかしこれまでに昼間の橋体温度を計測した例は少なく、現時点で橋体の温度分布や温度変化の状態を把握することは難しい。とくに、ケーブルの温度は、通常、橋面上に設置した短い供試体ケーブルを用いて計測されている。そのため、温度変化の激しい昼間においては、高所に架設された本体ケーブルと環境がかなり異なっているため、より実態に即した計測方法の開発が不可欠である。

そこで、大阪市において建設中の一本塔を有する斜張橋・中島大橋を実験橋として、昼間の架設管理をめざして上述の種々な問題点を解明すべく、温度計測の室内実験を含めて、現在、鋭意調査研究を進めている。

本論文では、このうち、これまでに報告されている昼間の構造物温度の実測値から橋体温度を推定し、中島大橋を対象として数値解析を試みる。また、筆者らが開発した温度同定法について述べ、その適用例を示す。さらに、昼間のケーブル温度を正確に計測する方法として検討中の、光ファイバ温度レーダを用いた計測システムについて紹介する。

## 2. 温度の影響評価

### 2.1 構造物の温度分布の実態

図-1に示す菅原城北大橋では、ケーブル8段目が架設完了したときに、連続4日間の自動計測が行われている<sup>1)</sup>。同図中の計測位置における部材の温度変化、主桁の変位、およびケーブル張力の計測結果を、それぞれ図-2、および図-3に示す。

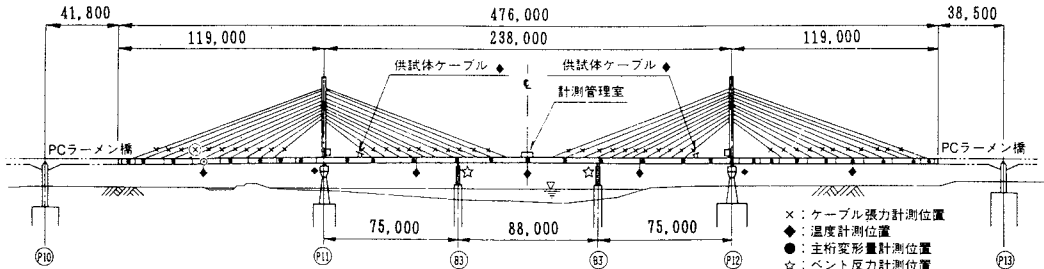


図-1 主要寸法、および計測位置（単位：mm）

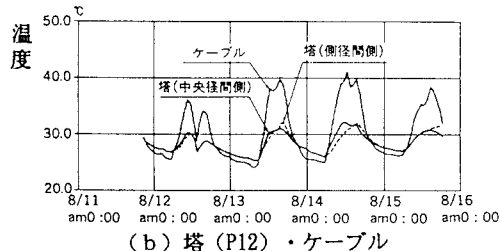
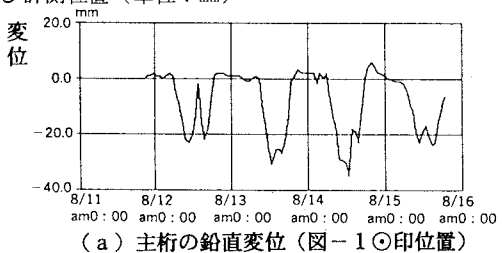
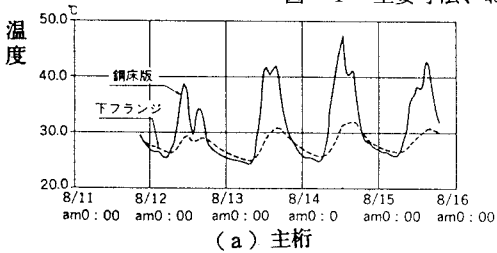


図-2 部材の温度変化

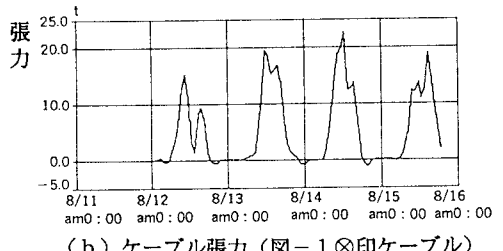


図-3 主桁変位およびケーブル張力の変化

この計測結果から判明したことをまとめると、以下のとおりである。

- ① 鋼床版と下フランジとの温度差は、最高20℃近くにまで達している。
- ② 鋼床版の温度は、最高50℃近くにまで達している。また、その温度分布は、クレーン架台・軌条設備などの架設機材の影響で一様分布となっていない。
- ③ 塔、および下フランジの温度は一様に変化しており、どちらも変化量は非常に少ない。また、塔の側径間側と中央径間側との温度差は、ほとんど生じていない。
- ④ ケーブルの温度は、鋼床版と同様に激しく変化している。これは、供試体ケーブルが鋼床版上に設置されているためであると考えられる。
- ⑤ 各部材の温度が一定となるのは、午後9時から午前5時までの間である。
- ⑥ 温度変化による主桁の鉛直変位は最大30mmで、またケーブル張力も20tfほど変化することがわかった。

このように、昼間の橋体温度は、夜間と異なり、計測場所、および計測時間によってかなり大きな差異が生じることがわかる。また、阪神高速道路公団で行われた鋼製橋脚温度の1年間の実測結果でも、日照部では気温に対して+20～25℃上昇し、また日陰部ではほぼ気温に近い変化をすると報告されている<sup>2)</sup>。したがって、昼間の橋梁の架設管理を実現させるためには、橋体の温度分布の状態を計測誤差なく正確に把握し、得られた実測値に適切な補正を施す必要がある。

## 2. 2 温度によるキャンパー、およびケーブル張力の変動

文献1)で実測された温度にもとづき、昼間の温度変化が橋体にどの程度影響するかを、現在、大阪市において建設中の中島大橋に対して解析し、検討を加える。

この橋梁は、図-4に示すように、一本の塔を有する橋長337.55mの3径間連続鋼斜張橋である。

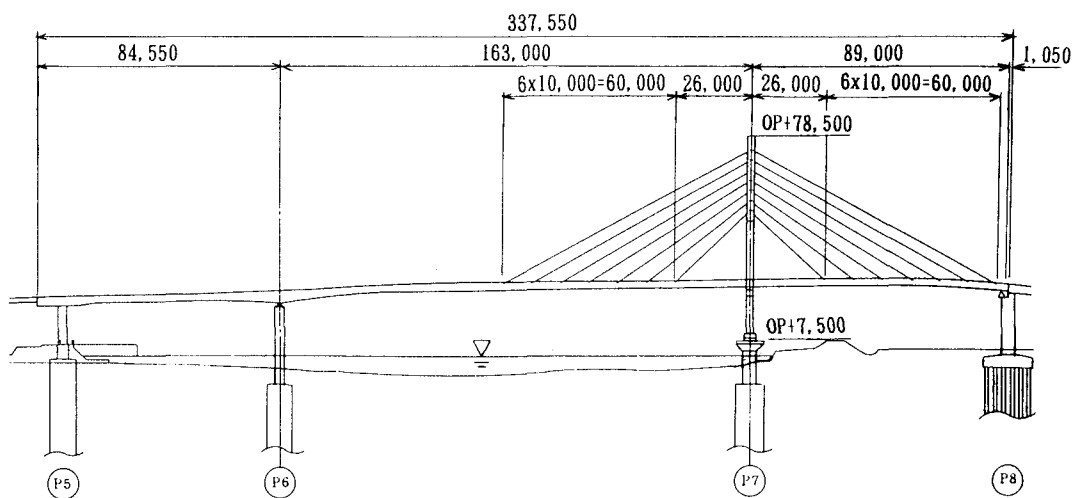
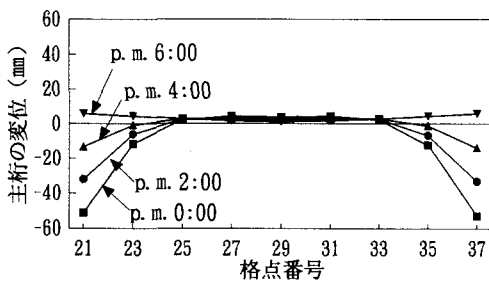


図-4 中島大橋の一般図

架設には完全バランシング工法を採用しているため、温度変化が、主桁張り出し部の先端の変位に大きく影響する。そこで、主桁張り出し長が最大となるケーブル5段架設時を対象としてキャンパー、およびケーブル張力に対する温度の影響を調査してみる。

正午から夕方6時までの2時間ごとの橋体温度変化は、表-1のようになる。また各時刻における標準温度20℃からの偏りによる主桁の変位、およびケーブル張力の計算値を、図-7、および図-8に示す。これらの結果から、温度変化に伴い、主桁の変位は張り出し先端で50mmほど変化し、またケーブル張力も16tf程度変化することがわかる。

|      |         |       |            | (単位:℃)     |            |            |
|------|---------|-------|------------|------------|------------|------------|
| 部材区分 | 部材番号    | 対象位置  | p. m. 0:00 | p. m. 2:00 | p. m. 4:00 | p. m. 6:00 |
| 主桁   | 21~36   | 桁上面   | 50.0       | 42.0       | 34.0       | 26.0       |
|      |         | 桁下面   | 35.0       | 32.0       | 29.0       | 26.0       |
| 塔    | 100~107 | P 6 側 | 35.0       | 32.0       | 29.0       | 26.0       |
|      |         | P 8 側 | 35.0       | 32.0       | 29.0       | 26.0       |
| ケーブル | C3~C12  | —     | 45.0       | 38.0       | 31.0       | 24.0       |



| ケーブル番号 | p. m. 0:00 | p. m. 2:00 | p. m. 4:00 | p. m. 6:00 |
|--------|------------|------------|------------|------------|
| C3     | 15         | 10         | 5          | 0          |
| C4     | 10         | 5          | 2          | 0          |
| C5     | 0          | 0          | 0          | 0          |
| C6     | -5         | -2         | -1         | 0          |
| C7     | -8         | -4         | -2         | -1         |
| C8     | -9         | -5         | -3         | -2         |
| C9     | -6         | -3         | -1         | 0          |
| C10    | 0          | 0          | 0          | 0          |
| C11    | 5          | 3          | 1          | 0          |
| C12    | 15         | 10         | 5          | 0          |

さらに、橋体温度が最も高くなる正午に着目して、主桁、塔、およびケーブルの各部材が、それぞれ表-1に示した温度になった場合の標準温度20℃からの偏りによる主桁の変位、ならびにケーブル張力変化量を、図-9、および図-10に示す。主桁変位は、ケーブルの温度変化の影響を最も大きく受ける。また、ケーブル張力も、主桁の温度変化の影響を大きく受けることがわかった。

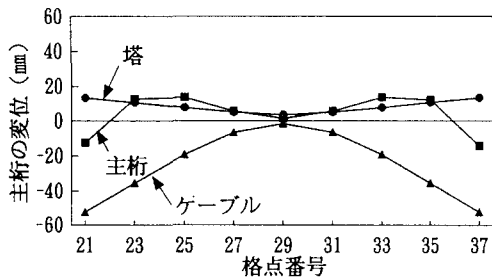


図-9 主桁の変位

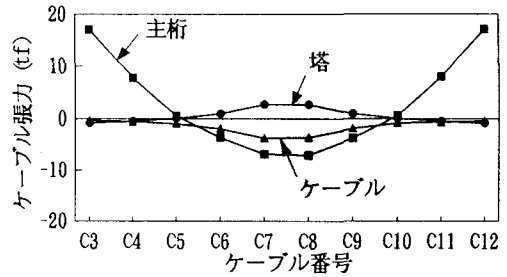


図-10 ケーブル張力

以上の結果から、温度変化の激しい昼間に斜張橋の張り出し架設管理を行う場合、主桁のキャンバーに大きく影響するケーブル温度については、やはり正確に把握することが不可欠になることがわかる。そこで、ケーブル温度変化がどの程度橋体に影響をおよぼすかを調査するために、ケーブルの温度分布を表-2のように、5ケース假定して解析したところ、図-11に示す結果を得た。たとえば、CASE1とCASE5との場合のように、各ケーブル間の温度差が10℃程度の範囲内であれば、主桁の変位の差異は、15mm程度である。さらに、個々のケーブルをそれぞれ単独に45℃と假定し、他のケーブルを標準温度とした場合の主桁の変位は、図-12に示すように変化する。張り出し先端の主桁の変位に対しては、設置されている側の上段2本のケーブル温度変化の影響が大きい。これに対して反対側に張り出している主桁には、ほとんど影響が及ばないことがわかった。したがって、昼間に架設管理を行う場合、各ステップにおける最上段に架設されるケーブルの温度を、正確に把握する必要があるといえる。

表-2 温度分布の假定

| ケーブル番号 | (単位:℃) |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 | CASE 4 | CASE 5 |
| C3     | 45.0   | 45.0   | 45.0   | 35.0   | 35.0   |
| C4     | 45.0   | 45.0   | 42.5   | 37.5   | 35.0   |
| C5     | 45.0   | 45.0   | 40.0   | 40.0   | 37.5   |
| C6     | 45.0   | 45.0   | 37.5   | 42.5   | 37.5   |
| C7     | 45.0   | 45.0   | 35.0   | 45.0   | 40.0   |
| C8     | 45.0   | 35.0   | 35.0   | 45.0   | 40.0   |
| C9     | 45.0   | 35.0   | 37.5   | 42.5   | 42.5   |
| C10    | 45.0   | 35.0   | 40.0   | 40.0   | 42.5   |
| C11    | 45.0   | 35.0   | 42.5   | 37.5   | 45.0   |
| C12    | 45.0   | 35.0   | 45.0   | 45.0   | 45.0   |

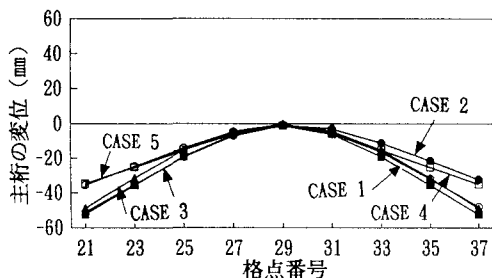


図-11 主桁の変位

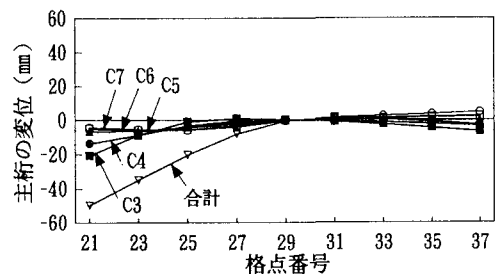


図-12 主桁の変位

### 3. 温度同定法へのファジィ S I 法の応用

ここでは、ケーブル温度計測が、①従来のように、供試体ケーブルのみで行われてケーブル全体の一定温度変化として補正された場合と、②本体ケーブルの温度が直接計測でき、ケーブル温度分布まで考慮することができる場合との2つの場合に対する計測誤差について考察する。その方法としては、筆者らが文献3)で開発した温度同定法を用いる。

#### 3. 1 温度同定法の定式化

温度同定法とは、ある温度状態でのケーブル張力、主桁・塔の変形量および橋体・ケーブルの一部分の温度の計測値をもとに構造同定の手法により橋全体の温度分布および、標準温度での張力、変形量を推定する方法である。

主桁、および塔のキャンバー値、ならびにケーブル張力の計測値をファジィデータと考え、 $\tilde{F}$ と定義する。そして、これらの計測値の標準温度（一般には、20℃）における値を $\tilde{F}_0$ 、キャンバー値、およびケーブル張力の温度変化による影響値を $K$ とし、また $\tilde{F}$ をモデル式の係数の可能性に依存するとみなし、ファジィ係数 $X$ を持つ温度影響値モードの重ね合わせで表す。すなわち、

$$\tilde{F} = \tilde{F}_0 + \sum_{i=1}^N \tilde{X}_i K_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、記号 $\sim$ は、ファジィ集合を表す。また、 $\tilde{X}_i$ は図-13に示す $c_i$ と $\alpha_i$ とを代表値とするメンバーシップ関数をもつファジィ量である。いま、問題は、ファジィ係数 $\tilde{X}_i$ と標準温度における諸量 $\tilde{F}_0$ を求めることにある。そこで、適合度を計る基準パラメータ $h$  ( $0 \leq h < 1$ )を導入し、標準温度における諸量 $\tilde{F}_0$ も $\tilde{X}_i$  ( $i=N+1, \dots, N+M$ )で表現すると、ファジィ量 $\tilde{X}_i$ は、以下の諸式(2)～(5)で表されるファジィ線形回帰分析の極大値を解く問題に帰着される。すなわち、

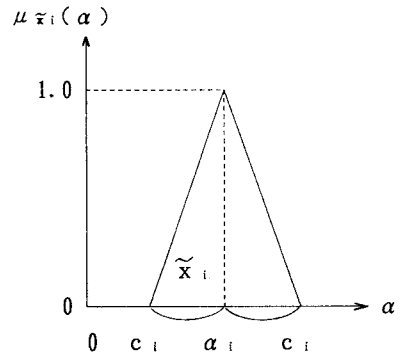


図-13  $\tilde{X}_i$ のメンバーシップ関数

目的関数：

$$\text{極大} \rightarrow J(c_i) = \sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} c_i |k_{ji}| \quad \dots\dots\dots(2)$$

制約条件：

$$F_j + (1-h)e_j \geq (1-h) \sum_{i=1}^N c_i |k_{ji}| + \sum_{i=1}^N \alpha_i k_{ji} + (1-h) \sum_{i=N+1}^{N+M} c_i |k_{ji}| + \sum_{i=N+1}^{N+M} \alpha_i k_{ji} \quad \dots\dots(3)$$

$$F_j - (1-h)e_j \leq -(1-h) \sum_{i=1}^N c_i |k_{ji}| + \sum_{i=1}^N \alpha_i k_{ji} - (1-h) \sum_{i=N+1}^{N+M} c_i |k_{ji}| + \sum_{i=N+1}^{N+M} \alpha_i k_{ji} \quad \dots\dots(4)$$

$$j=1, 2, \dots, N+M \quad c_i \geq 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、

- M：計測項目数（ケーブル張力、および主桁や塔の変位など）  
N：温度分布の区間割り箇所数（ただし、主桁のように温度差がある場合、一様な温度変化と温度差の重ね合わせとみなすため、区間割り箇所数は、2個となる。）  
 $F_j$ ： $\bar{x}$ のj成分  
 $K_{ji}$ ：区間iの単位温度変化による計測値j成分の影響値（一様温度と温度差とのそれぞれの影響に分離する。）  
 $c_i$ 、 $\alpha_i$ ： $\bar{x}_i$ のメンバーシップ関数の代表値  
 $e_j$ ：計測値（ファジィ出力）の誤差  
h：適合度を計る基準パラメータ（ $0 \leq h < 1$ ）

式(3)、および(4)の右辺の第3項、ならびに第4項は、式(1)における $\bar{x}_i$ を表している。また影響値 $k_{ji}$ については、 $i=N+j$ のときのみ $k_{ji}=1$ 、そのほかは $k_{ji}=0$ である。

以上の解法により、標準温度における計測値 $\bar{x}_i$ の推定値が得られれば、夜間における一様温度時の結果が得られたことになり、著者らの方法によってケーブル張力の調整が可能となる。

3. 2 温度計測箇所数の相違による計測誤差

図－5、および図－6に示した中島大橋の架設系モデルを用いて、温度同定の計算を行う。温度同定法を適用した場合の真値からの差異を明確にするために、標準温度における主桁変位などの値を、すべて0とする。すなわち、温度同定法によって温度状態を正確に推定できれば、標準温度状態における計算値は、主桁と塔の変位、およびケーブル張力の変化量とも0になる。温度分布の状態を、表－3に示すように、2ケース設定し、それぞれの標準温度20℃からの主桁と塔の変位、およびケーブル張力の変化量を計算すると、表－4に示す結果が得られる。

表－3 温度変化

表－4 主桁と塔の変位、およびケーブル張力の変化量

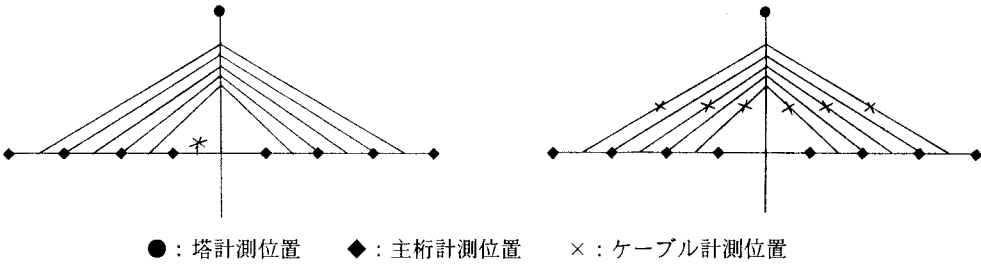
| (単位:℃) |         |       |        |        |
|--------|---------|-------|--------|--------|
| 部材区分   | 部材番号    | 対象位置  | CASE 1 | CASE 2 |
| 主桁     | 21~36   | 桁上面   | 50.0   | 35.0   |
|        |         | 桁下面   | 30.0   | 30.0   |
| 塔      | 100~107 | P 6 側 | 30.0   | 30.0   |
|        |         | P 8 側 | 35.0   | 30.0   |
| ケーブル   | C3      | —     | 30.0   | 30.0   |
|        | C4      | —     | 35.0   | 30.0   |
|        | C5      | —     | 40.0   | 30.0   |
|        | C6      | —     | 45.0   | 30.0   |
|        | C7      | —     | 50.0   | 30.0   |
|        | C8      | —     | 50.0   | 30.0   |
|        | C9      | —     | 45.0   | 30.0   |
|        | C10     | —     | 40.0   | 30.0   |
|        | C11     | —     | 35.0   | 30.0   |
|        | C12     | —     | 30.0   | 30.0   |

| 部材区分                  | 部材番号 | CASE 1 | CASE 2 |
|-----------------------|------|--------|--------|
| 主桁の変位<br>(mm)         | 21   | 45     | -11    |
|                       | 23   | 62     | 1      |
|                       | 25   | 49     | 5      |
|                       | 27   | 27     | 6      |
|                       | 29   | 6      | 6      |
|                       | 31   | -16    | 6      |
|                       | 33   | -40    | 5      |
|                       | 35   | -76    | 1      |
|                       | 37   | -143   | -11    |
| 塔の変位(mm)              | 100  | 60     | 0      |
| ケーブル張力<br>変化量<br>(tf) | C3   | 51.2   | 11.2   |
|                       | C4   | 19.8   | 5.1    |
|                       | C5   | -4.0   | -0.1   |
|                       | C6   | -19.2  | -3.9   |
|                       | C7   | -32.2  | -8.5   |
|                       | C8   | -33.4  | -8.5   |
|                       | C9   | -18.6  | -4.0   |
|                       | C10  | -3.0   | -0.2   |
|                       | C11  | 20.4   | 5.1    |
|                       | C12  | 50.2   | 11.3   |

そこで、まずケーブル温度計測が従来のように供試体ケーブルのみで行われ、ケーブル全体の温度を一般的な値として補正を行う場合を想定して、図－14（a）に示す計測箇所を設定した。これに対して、つぎに本体ケーブルの温度を直接計測でき、ケーブルごとの温度分布まで考慮することができた場合も想定して、図－14（b）に示すケーブル計測箇所も設定した。この場合、温度計測をしないケーブルについては、隣り合うケーブルの温度で補完する。表－4で示したそれぞれの部材の変化量をもとに、温度同定法を適用して得られた結果を、それぞれ推定値1、および2として表－5にまとめた。この表より、ケーブル張力のばらつきは、推定値1、および推定値2とも同じ程度である。しかし、主桁と塔の変位は、明らかに推定値1の方が推定値2より精度が悪くなっている。これらの結果から明らかのように、温度同定法により、各部材の温度を精度よく推定できることが確認できた。しかし、その場合でも、ケーブル計測箇所については、ある程度の点数を確保することが不可欠である。

表－5 標準温度における推定値

| 部材区分                  | 部材番号 | 推定値1 | 推定値2 |
|-----------------------|------|------|------|
| 主桁の変位<br>(mm)         | 21   | 45   | -9   |
|                       | 23   | 32   | -3   |
|                       | 25   | 25   | -1   |
|                       | 27   | 14   | 1    |
|                       | 29   | 1    | 2    |
|                       | 31   | -3   | 3    |
|                       | 33   | -10  | 3    |
|                       | 35   | -24  | 3    |
|                       | 37   | -28  | -1   |
| 塔の変位(mm)              | 100  | -29  | 3    |
| ケーブル張力<br>変化量<br>(tf) | C3   | 5.1  | -2.6 |
|                       | C4   | -0.3 | -4.7 |
|                       | C5   | -1.7 | 1.5  |
|                       | C6   | -2.7 | -0.5 |
|                       | C7   | -1.1 | 4.8  |
|                       | C8   | -0.5 | 4.7  |
|                       | C9   | -3.0 | -0.5 |
|                       | C10  | -2.1 | 1.6  |
|                       | C11  | -0.5 | -4.7 |
|                       | C12  | 5.5  | -2.7 |



(a) 供試体ケーブルで温度を計測する場合 (推定値1) (b) 本体ケーブルを直接測定できる場合 (推定値2)

図－14 温度計測箇所数



## 4. 光ファイバケーブルを用いたケーブルの温度の計測法

### 4. 1 光ファイバによる温度の計測法の概要と原理

光ファイバを情報伝送路として利用するセンサの一つに、分布型光ファイバセンサが、開発されている。このセンサは、光ファイバそれ自身がセンサとして働くもので、地中ケーブルなど長距離にわたり、しかも広範囲に設置された設備全体の温度分布を、容易かつ経済的に計測することができるものである。この光ファイバセンサは、光ファイバ一本を敷設するだけで、光ファイバに沿った温度分布を一括測定できる計測システムである。これまでに、コンクリートの凝固時の温度計測、トンネルの火災探知、プラントの温度管理、あるいは電力ケーブルの温度管理などに利用されてきている<sup>4)</sup>。

ところで、光ファイバに沿った温度分布を得るためには、光ファイバ長手方向の各点の位置と、その位置における温度の2つ情報とが必要である。

このうち、各点の位置は、次の方法で求められる。すなわち、光ファイバにレーザ・パルス光を入射すると、この光パルスは、各通過位置で微弱な散乱光を生成しながら、真空中よりやや遅い約  $200\text{ m}/\mu\text{s}$  の速度  $v$  で光ファイバ中を伝播してゆく。発生した散乱光の一部は、後方散乱光として再び入射端に戻ってくるので、光パルスを入射してから後方散乱光が戻ってくるまでの経過時間  $t$  によって、その後方散乱光の発生した位置  $x$  ( $= vt/2$ ) がわかる。

一方、各点位置における温度は、後方散乱光に含まれるラマン散乱光から求められる。後方散乱光は、主として入射光と同じ波長のレイリー散乱光と、波長の異なるラマン散乱光との2つで構成されている。レイリー散乱光は、入射光が光ファイバ材料のガラスの格子振動によって弾性的に散乱されて生じるものである。これに対し、ラマン散乱光は、入射光がガラスの格子振動とエネルギーの受け渡しを伴って発生する非弾性的な相互作用によって生成するものである。ラマン散乱光の強度は、レイリー散乱光の約  $10^{-3}$  で、入射光の約  $10^{-8}$  と極めて微弱な光である。しかし、その強度は、温度に敏感に左右されるので入射端に戻ってきたラマン散乱光を調べることによって、その散乱光が発生した位置における温度を知ることができる。散乱光の発生の模式図を、図-15に示す。

光ファイバによる温度計測システムは、光ファイバセンサ部、計測器本体、および温度分布演算・表示用パソコンなどで構成されている。また、光スイッチで自動切り替えることによって、多系統の温度計測ができる。また、今回、準備しているシステムでは、応答距離分が1mで、温度測定の精度が $\pm 1^\circ\text{C}$ 、(ただし、測定ケーブル長さ1000m以下)である。

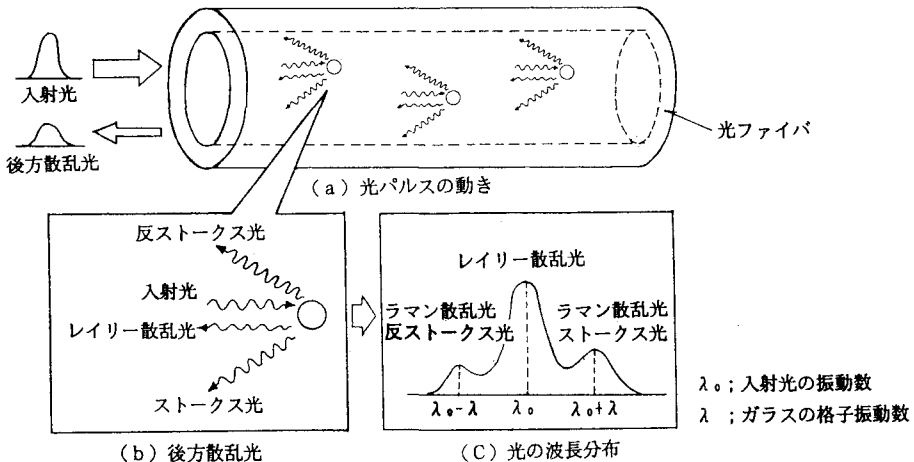


図-15 散乱光の発生の模式図

#### 4. 2 実橋へのシステムの適用

##### (1) 光ファイバを挿入したH i Amケーブルの開発

ケーブルは、H i Am-SPWCとして工場で製作する。その鋼線集束時に、断面中心へ図-16に示すように、 $\phi 7\text{mm}$ のステンレス製鋼管を組み込む。そして、ケーブルを架設後、図-17に示すよう、光ファイバを挿入する。

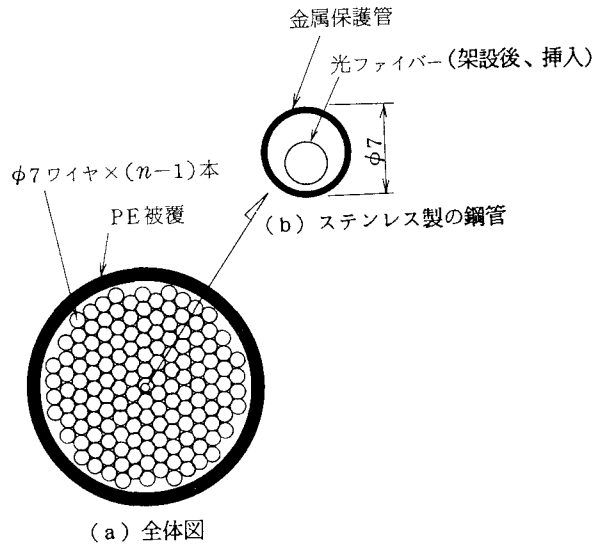


図-16 ケーブルの断面図

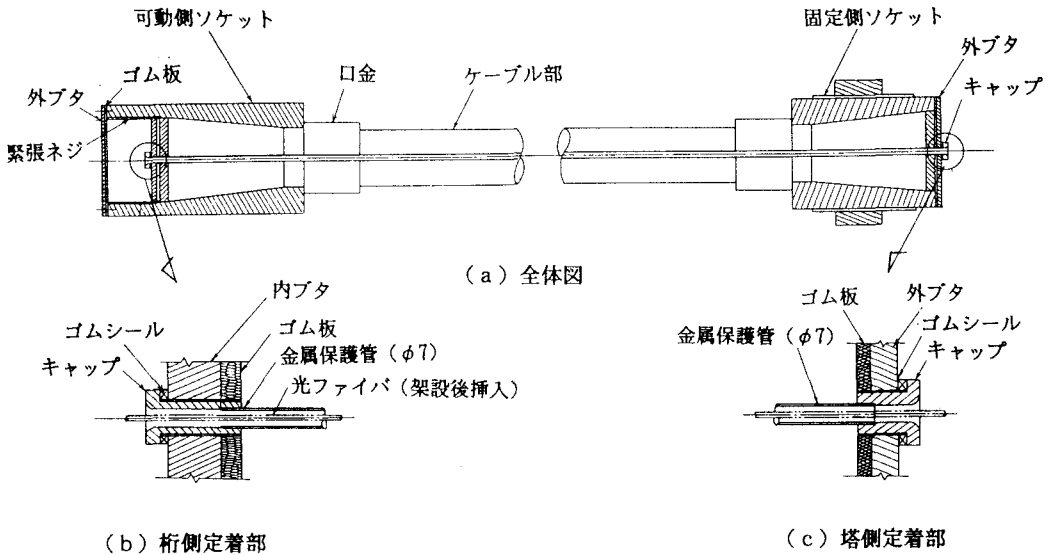


図-17 光ファイバを挿入したH i Amケーブル構成

##### (2) 実橋における計測システム

中島大橋では、この光ファイバケーブルを用いてケーブル、主桁および塔の温度を計測し、昼間に架設管理を行うべく準備中である。主桁と塔の変位、ケーブル張力、および温度計測位置を図-18に、またシステム構成を図-19に示す<sup>5)</sup>。

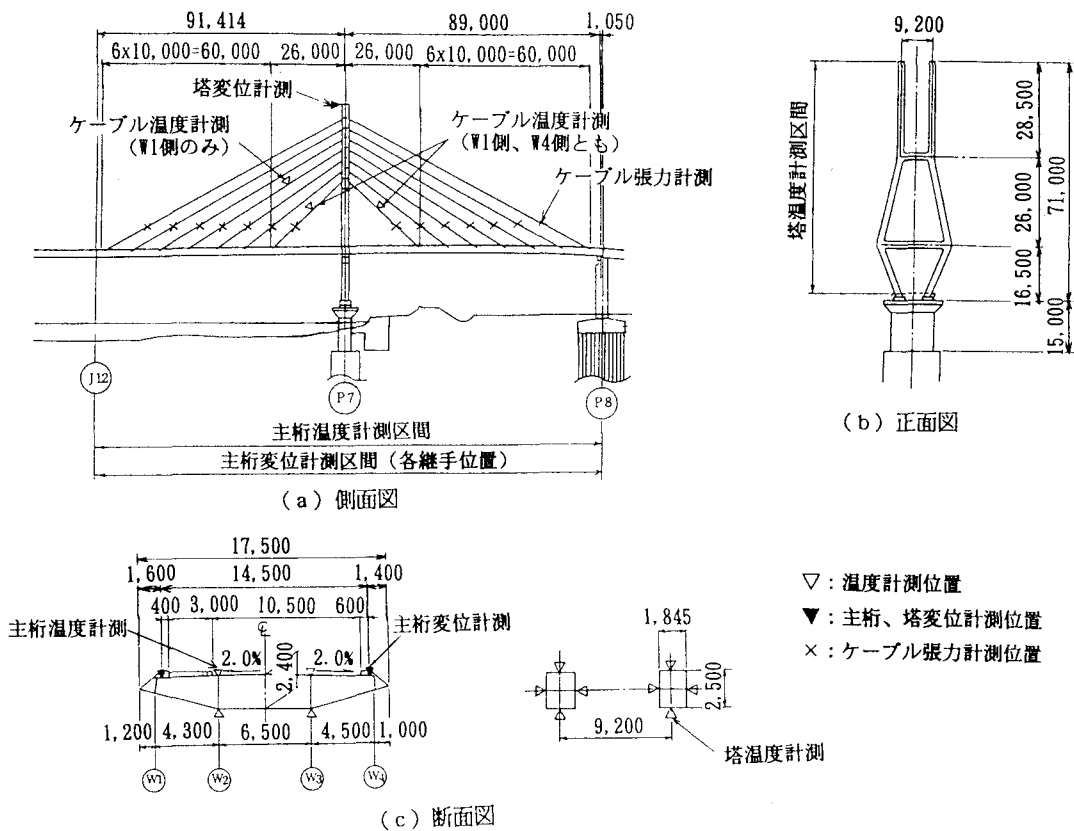


図-18 計測位置 (単位: mm)

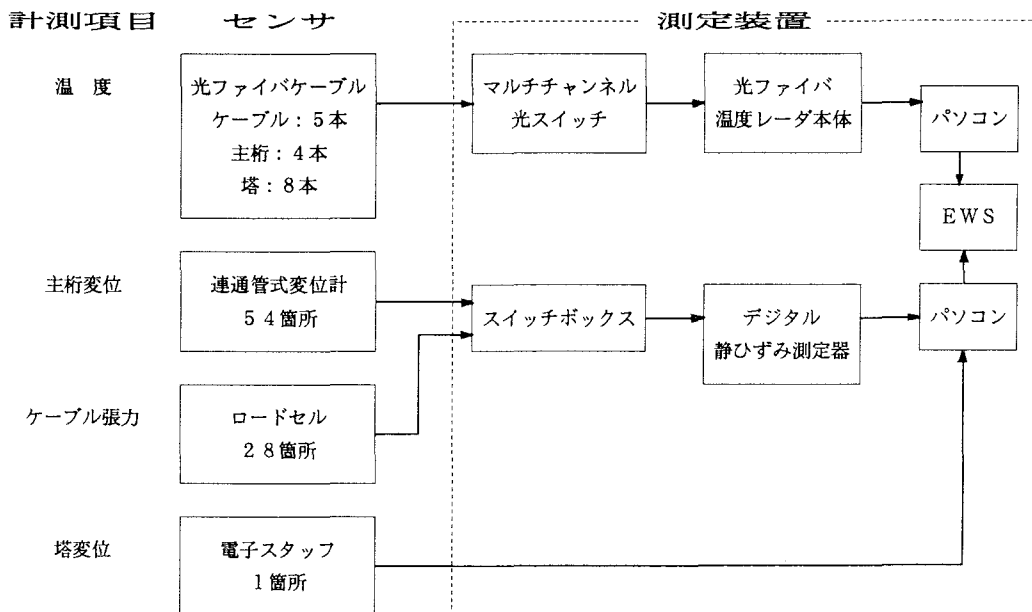


図-19 システムの構成

また、本計測システムの施工性、信頼性を確認するために、50m程度の光ファイバ挿入用のケーブルを試作し、以下に示す予備実験を行いつつある。

- ① 光ファイバが、無理なく、金属保護管の中に挿入できるか否か。
- ② 外部から熱を与えて、温度ゲージの読みとも比較し、精度よく計測できるものであるか否か。

## 5. まとめ

本文では、斜張橋の昼間架設管理を可能にするため、各種の検討を行った。その結果、得られた諸点をまとめると、以下に示すとおりである。

- (1) 実橋の昼間における温度計測結果によれば、標準温度からの主桁の変位、およびケーブル張力の変化量は大きい。したがって、温度の影響を考慮して、実測値に適切な補正を施す必要がある。
- (2) 斜張橋を張り出し架設工法で施工する際、ケーブルの温度変化は、主桁変位に最も大きな影響を与える。
- (3) 温度同定法を用いて計測箇所数の相違を与える計測誤差について考察した結果、従来の供試体ケーブルを用いてケーブル温度を一律として仮定した場合は、各ケーブルの温度分布を測定できたと仮定した場合に比べ、計測誤差がかなり大きくなることがわかった。
- (4) 以上のことから、ケーブルの温度を複数本精度よくリアルタイムに測定することが、橋体計測誤差を最小にすることに結びつくことがわかった。
- (5) ケーブル温度を計測する方法として、光ファイバを用いた方法が有効であることを示した。そして、これから建設しようとする斜張橋のケーブルへの組み込み方法、および計測システムを提案した。

## 参考文献

- 1) 若林保美、山田浩幸、植田利夫、村田省三、中田孝晴、湯籾尚人、小林義和：菅原城北大橋（斜張橋）の架設と精度管理、日立造船技報、Vol. 51、No. 1、pp49-59、1990. 6
- 2) 北沢正彦、川北司郎、中島裕之、久保雅邦、石田良三：鋼製橋脚における構造物温度の実測と温度荷重の検討、橋梁と基礎、Vol. 23、No. 11、pp. 23-27、1989. 11、およびVol. 23、No. 12、pp. 35-40、1989. 12
- 3) 古田 均、亀井正博、金吉正勝、田中 洋：ファジィ S I 法による昼間ケーブル張力調整の基礎的研究、土木学会、第2回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集、pp323-328、1991. 11
- 4) 藤井輝夫、榎本広男、岡本和弘：光ファイバ温度分布計測システムによる低温測定、センサ技術、Vol. 12、No. 5、pp73-76、1992. 5
- 5) 石岡英男、井下泰具、亀井正博：菅原城北大橋主橋梁部の架設精度管理、橋梁と基礎、Vol. 23、No. 7、pp27-33、1989. 7

(1993年9月16日受付)