

斜張橋(宮本橋)の架設時の精度管理

Precision Control during Construction of Cable-Stayed Bridge (Miyamoto Bridge)

能登 宥 愿* 山下 久 生** 山 田 豊***
Hiroyoshi NOTO Hisao YAMASHITA Yutaka YAMADA

Summary

The Miyamoto Bridge is a two-span continuous hybrid cable-stayed bridge with stay cables on two sides, a main girder made up of two steel box girders, and a main tower consisting of two independent reinforced concrete posts. At the time each cable was attached its length was obtained using a design-thickness shim. Immediately before placing the RC floor slab, a comprehensive precision control action was performed on all cables to adjust their lengths by changing shim thickness. Clear prior understanding of such factors as structural characteristics and load during construction made it possible to perform tentative assembly with satisfactory precision.

1. まえがき

宮本橋は長野県大町市の北アルプスの麓の高瀬川に架かる橋梁である。本橋はケーブルが2面、主桁は鋼製の2箱桁、主塔はコンクリートの独立2本柱で構成される2径間連続斜張橋である。精度管理はRC床版を打設する直前、即ち鋼桁架設完成時の平成5年10月初旬に行われた。

2. 概要

斜張橋はケーブルを有する自由度の高い構造物であり、設計段階で力学的合理性、鋼桁自重最小化を目指したプレストレスが設定されている。また本橋は主塔がコンクリートであり、それに対する考慮も必要とされる。そこで、設計時に想定した張力、形状の再現が必要不可欠である。しかるに設計・製作・架設の各段階、特に主塔の製作が現場で行われる等の条件から生じた各種不整合が、構造物の形状・ケーブル張力・部材の応力等に影響を与え、誤差を生みだしている。そこで、これらの誤差を許容される範囲内に、バランスよく収めるためにケーブル長の調整を行う。良い品質、安全性の確認、工程のスムーズな進捗を目標にして、コンピュータシステムによるリアルタイム処理の精度管理を行った。

3. 管理方針

斜張橋全体系およびそのうちの主塔の構造形式・材料等の要素に着目して、構造特性の調査を行い、そのデータの結果と、現場の施工性、安全性を考慮して、管理方針を次のように決めた。

- ① 計測・調整は鋼桁架設完成時（足場荷重含む）に行う。この後に行うコンクリート床版打設等に対しては、荷重・剛度のバランスを考慮する。
- ② 計測当日、架設時荷重の最終チェックを行い、管理値の修正をする。
- ③ ケーブル張力、主桁の鉛直変位、主塔の塔頂の橋軸方向の変位の各2面を管理項目とする。主桁等の応力は、構造モデルの妥当性の確認に用いる。
- ④ 地域の温度特性を知るために、温度の経時計測を行い、精度管理に好ましい最適計測時間を設定する。また必要に応じて計測値を温度補正する。
- ⑤ ケーブル張力計測は振動法とし、ケーブルの曲げ剛性、支持方法、サグ等の影響による補正は、ジャッキ法（変位－圧力の関係式）によりおこなう。
- ⑥ 本橋の誤差特性としては、施工上および構造系から荷重・剛性より形状に重きを置く必要があると思われる。
- ⑦ シム調整の過程で、同一段の左右ケーブルに大きな張力差が生じないように、片側ケーブルのシム量

* 技術本部先行技術研究室長

*** 技術本部第一設計部第一設計課

** 技術本部第一設計部第二設計課

の増減は一度に33mmまでとする。

4. 計測項目と管理値とその目標値

本橋を管理する計測項目は、構造物の特性を表し、なおかつ計測が容易な主桁の鉛直変位、主塔の倒れ、ケーブル張力の3項目とする。

管理項目以外の計測項目は、計測時間の設定、計測値を標準温度(20℃)へ補正するために橋体・外気の温度の測定である。さらに実際の構造物を数値解析するためのモデル化の妥当性、安全性の確認のための主桁・ペンデル沓の応力測定である。各項目の計測位置とその計測要領を図-1に、計測方法を表-1に示す。

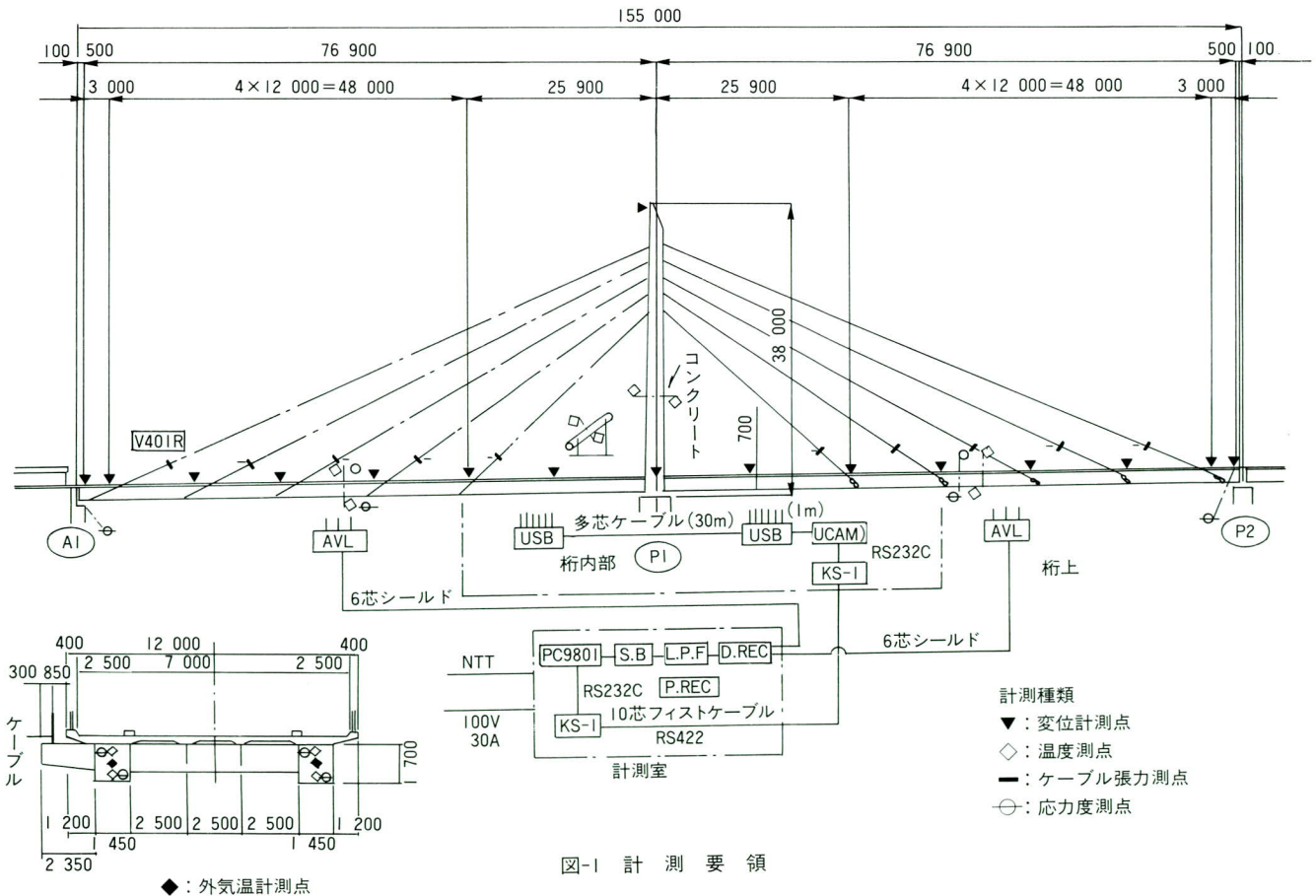
管理目標値は、部材の許容される強度(変位も含む)と設計値との差まで最大設定することができる。ここでは、この値をプラス・マイナス両側にとるものとする。各管理目標値は表-1に示される式によるものとする。

表-1 計測項目と管理目標値

計測項目	計測方法	管理目標値
ケーブル張力	サーボ型加速度計(常時微動法)振動法の補正はジャッキ法	$\Delta T = (T_a - T)$ T _a : 許容張力 T: 設計張力
主桁の鉛直変位	光波式測角測距儀による計測	$\delta = \frac{1}{2} \{25 + (L - 40)\}$ = 31mm L: 支間長 (m)
主塔の倒れ量	光波式測角測距儀による計測	$\Delta X = (h / l \cdot 500)$ = 31mm h: 主塔の高さ
橋体温度	主桁のBOX内、主塔の内面に熱電対を貼付	
外気温	主桁・主塔の内外面に熱電対をぶら下げる	
断面応力	主桁・ペンデル沓に歪ゲージを貼付	

5. 精度管理システム

本システムは構造特性計算・管理値・影響値計算等の



事前解析システムと、計測およびその処理を行う計測システムと、その計測結果と管理値を対比して、最適シム量の決定を行う解析システムとから構成されている（図2、3参照）。

事前解析では、橋体の上下流側の各計測値の差異とその調整を想定して、構造モデルを立体に、ケーブルをカテナリー曲線形状に仮定して、有限変位解析を行っている。

構造特性計算では、剛度・荷重・温度の差異の他に、ケーブル長とその定着間距離の差異による誤差を計算している。

各種計測値は部材の材料が鋼・コンクリートのいかに拘わらず、部材の一樣温度変化、部材断面の温度差による影響を補正し、ケーブル張力はさらにケーブルの曲げ剛度、ソケットの支持条件、サグ等による影響を補正している。

最適シム量の計算方法には、本システムでは最小二乗法、多目的計画法等いくつかの方法が用意されている。本橋では操作が容易な前者を用い、ケーブル張力、主桁の変位、主塔の倒れ等の重み係数を工学的判断により決定し、シム量を求めている。さらに施工性を考慮して、シム量調整対象ケーブルにシム量変化を集約して、最適シム量を決定している。

6. 構造特性計算

構造特性計算は主桁・主塔の剛性、鋼重、温度の誤差およびケーブル長とケーブル定着間距離との誤差等によるケーブル張力、形状への影響について行う。

主桁と主塔の剛性のみが+5%の誤差がある場合、主桁の鉛直変位で最大-3.5mm、主塔の倒れで0mm、ケーブル張力で+1.4tonの変化である（図-4、-5参照）。

主桁の鋼重が+5%の誤差がある場合、主桁の鉛直変位で最大-2.9mm、主塔の倒れで0mm、ケーブル張力で1.8tonの変化である（図-4、-5参照）。

温度がすべて一様に+10℃の誤差がある場合、主桁の鉛直変位で最大-0.2mm、主塔の倒れで0mm、ケーブル張力で-0.3tonの変化である（図-4、-5参照）。

形状誤差としては主桁が10mm、主塔が3.5mmそれぞれ長い場合（主桁と主塔のみが+10℃）、主桁の鉛直変位で最大+11mm、主塔の倒れで0mm、ケーブル張力で9.7tonと顕著な変化である（図-4、-5参照）。

また最下段ケーブルが10mm短い場合、主桁の鉛直変位

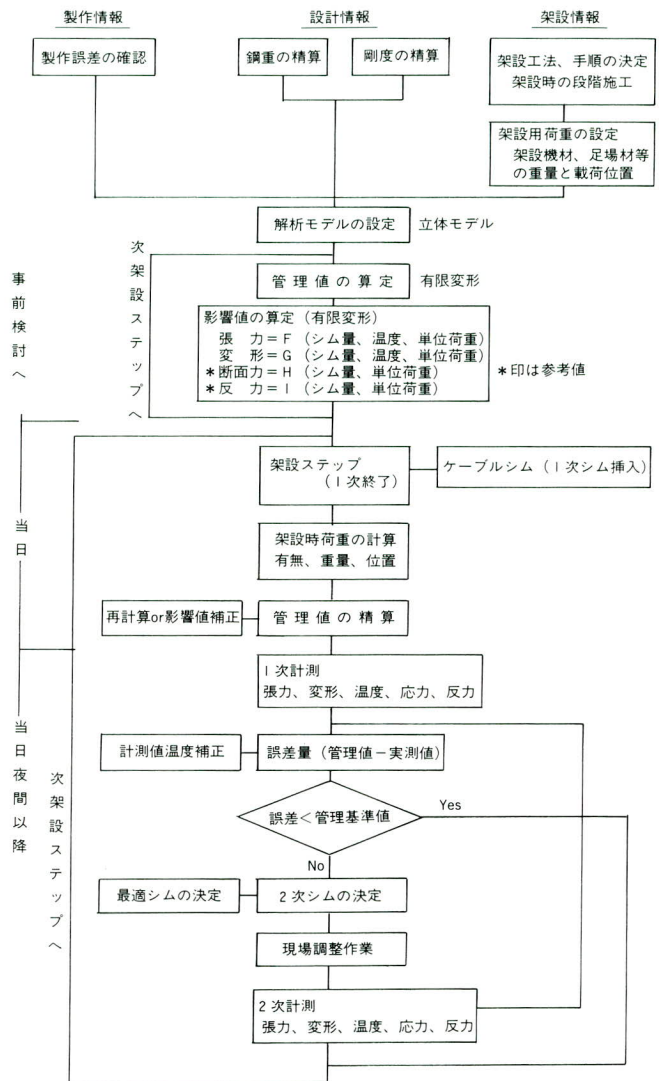


図-2 精度管理フロー

で最大+6mm、主塔の倒れで0mm、ケーブル張力で+9tonと顕著な変化である（図-6、-8参照）。

7. 計測結果、最適シム決定および考察

計測は本計測と補助計測に分けることができる。本計測には、管理項目のケーブル張力、主桁の鉛直変位、主塔の倒れと確認項目の主桁の応力とこれらの温度補正のための温度の計測がある。補助計測には、温度特性そして本計測の計測時間帯を設定するための温度計測、ケーブル張力を求めるための振動法の補正係数を定めるキャリブレーション計測等がある。

ここでは計測結果のデータ、最適シム決定の経緯とそれらの考察についてのべる。

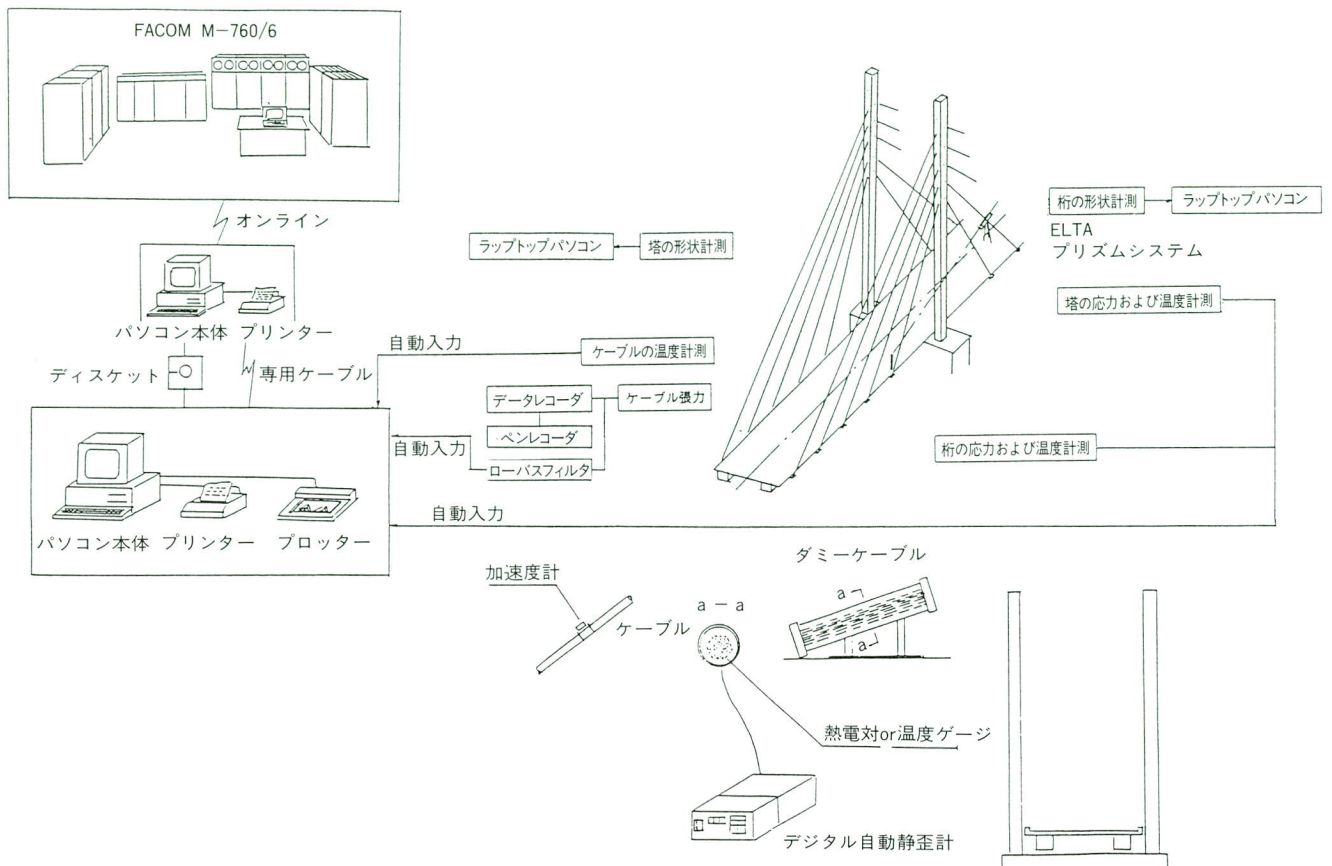


図-3 精度管理システムの概略

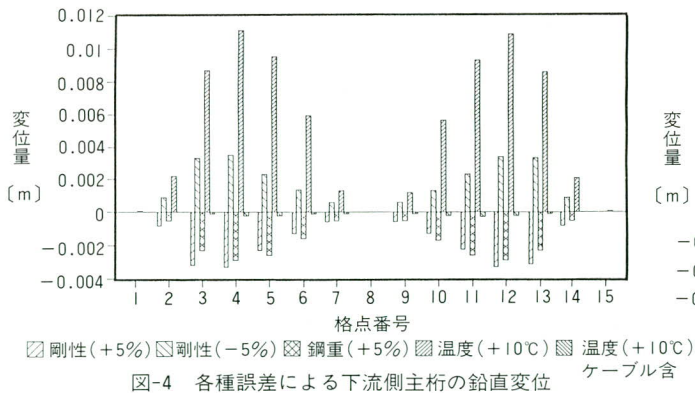


図-4 各種誤差による下流側主桁の鉛直変位

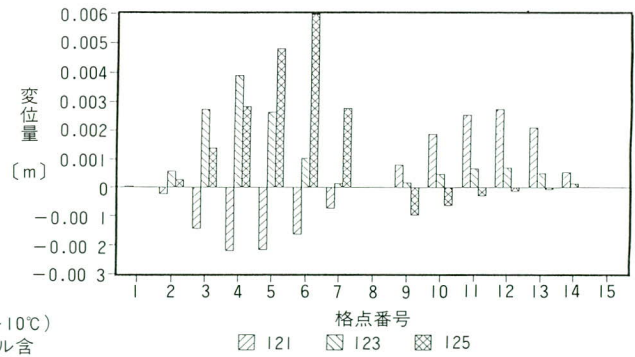


図-6 下流側ケーブルを10mm短くした場合の下流側主桁の鉛直変位

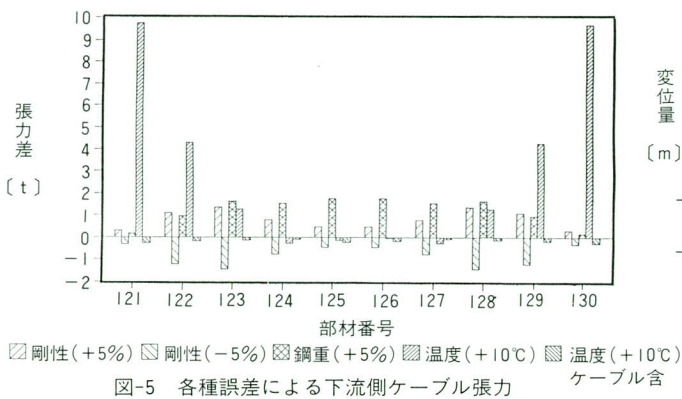


図-5 各種誤差による下流側ケーブル張力

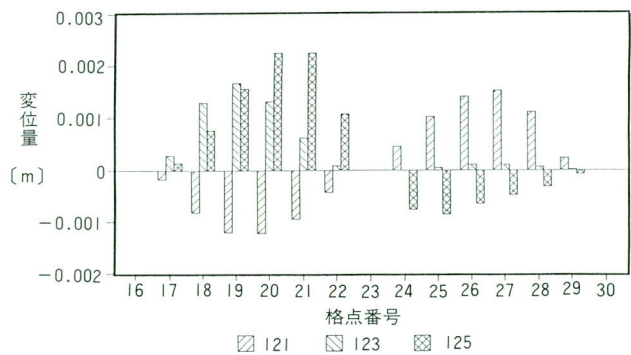


図-7 下流側ケーブルを10mm短くした場合の上流側主桁の鉛直変位

(1) 1次計測結果

各部材の温度経時変化を図-10、-11に示す。

鋼部材としての温度変化の傾向は、1次計測時に一昼夜で約10℃、翌々日の2次計測時（翌日雨のため）は5℃であった。計測時間帯は両計測共、主桁の上下フラン

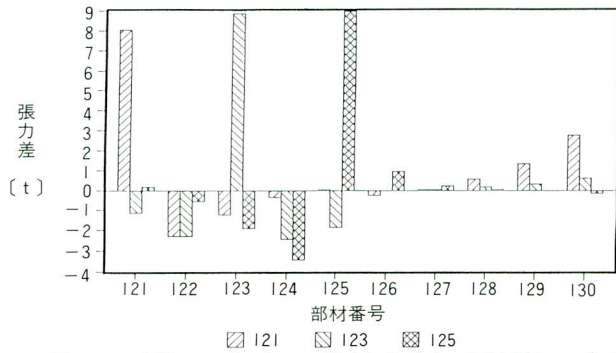


図-8 下流側ケーブルを10mm短くした場合の下流側ケーブル張力

ジの温度差の少ない19-22時の時間帯とした。

ケーブル張力のキャリブレーション計測の結果を図-12に示す。

主桁のジャッキアップによる応力度変化を図-13に示す。

計測値の応力度の変化量は、ウェブの上フランジ側で+

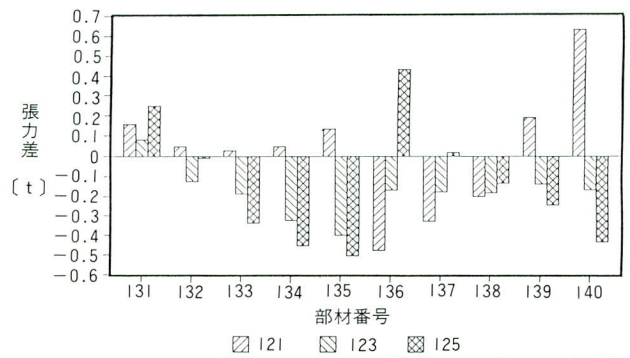


図-9 下流側ケーブルを10mm短くした場合の上流側ケーブル張力

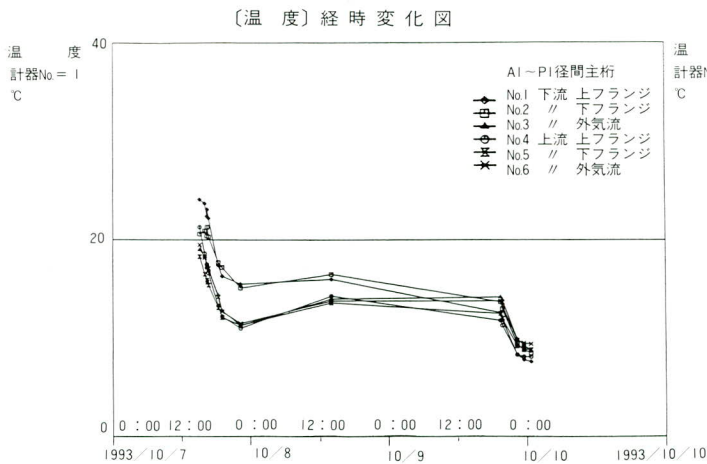


図-10 A1～P1径間主桁の上下フランジ温度および外気温の履歴

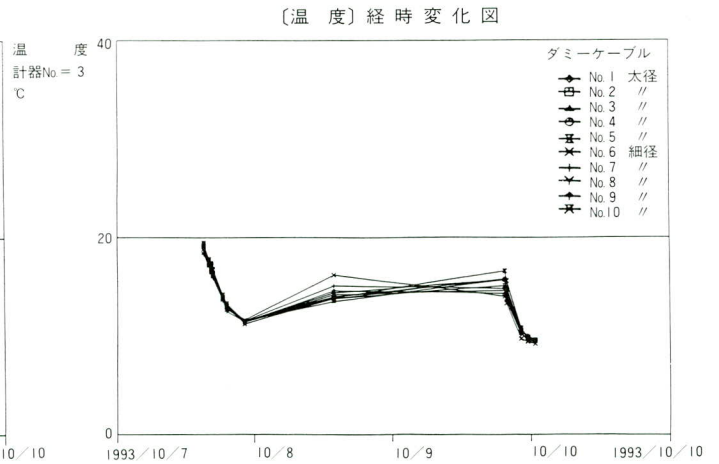


図-11 ダミーケーブル（太径・細径）の温度履歴

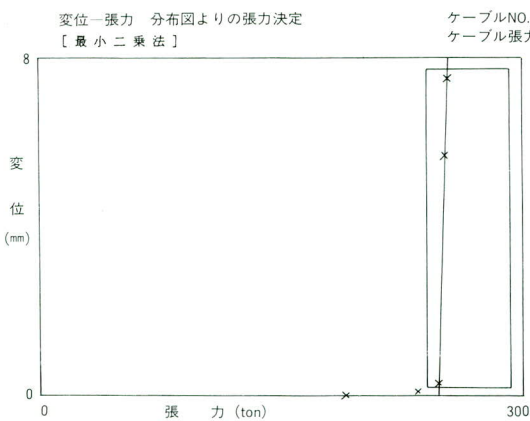


図-12 ケーブル張力のキャリブレーション

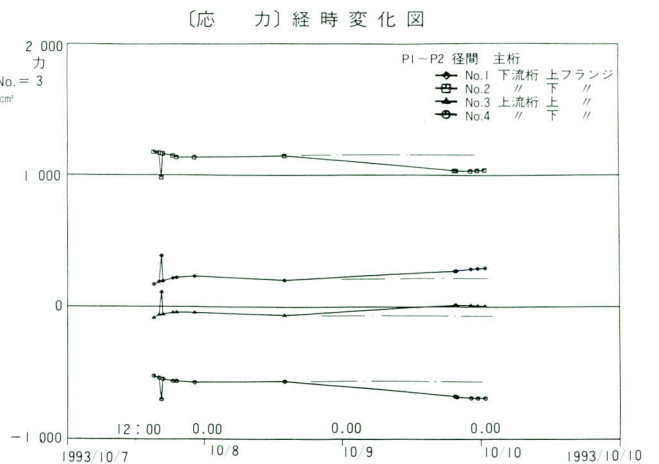


図-13 主桁のジャッキアップによる応力度変化

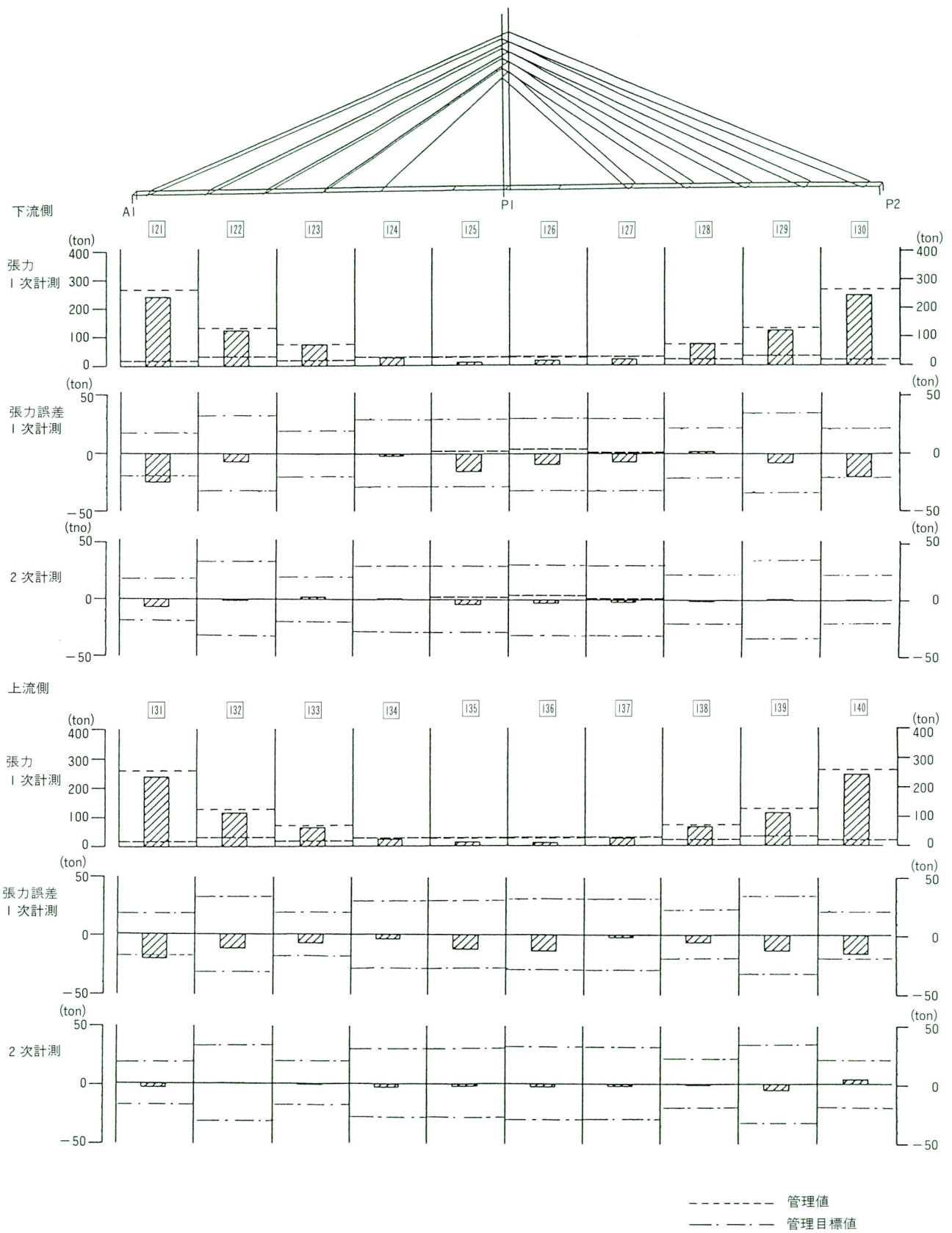


図-14 シム調整前後のケーブル張力および張力誤差

200kg/cm²、下フランジ側で-200kg/cm²、計算値はおおの+202、-202kg/cm²で、両者は良い一致を示している。このことから、構造系のモデル化が良い近似であることが確認された。

次に管理項目の計測結果を示す。

導入されているケーブル張力は、上段(最大249ton)から下段に向かって徐々に小さくなり、下2段ではこの時点で30ton以下になる(図-14参照)。

張力誤差は誤差図(図-14)から明らかなように、A1アバット側の最上段ケーブルで、管理目標値をマイナス側の値として僅かに上回っている。また誤差は全ケーブルについてみると、殆どが僅かマイナス側であり、張力が抜け気味である。

主桁の鉛直変位の誤差状況を誤差図(図-15)よりみると、全てマイナス側の値であることが判る。誤差の最大値はA1から支間の1/3位の位置で、-42mmであり、誤差形状は主塔に対してほぼ対称である。前述のケーブル張力の誤差がマイナス側であることを考えあわせると、相対的にケーブル定着距離に比べてケーブル長が長めであることがうかがわれる。

主塔の塔頂の倒れは、管理値が鉛直であるのに対して、誤差量は下流側が-13mm、上流側が10mmであり、多少捻れている。この塔は2本の柱が横支材で支えられることなく、独立しているのこのような傾向が生じたと思われる。

(2) 最適シム量の決定

1次計測のデータから、ケーブル張力・主桁の鉛直変位・主塔の倒れの誤差量等が確認された。これらの結果によると、ケーブル長が定着距離に比べて少し長めであ

ると推察される。また構造特性の調査から、ケーブル長と定着距離との相対差が上記の管理項目値に最も影響を与えていることが判明している。これらを総合的に判断して、最適シム量を決定する。

最適シム量は、まず管理項目の重みを一定にし、次に張力・主桁の鉛直形状・主塔の倒れ・シム量のそれぞれの重みを何種類か作成し、それらについて計算し、結果から応答誤差をみて決定する。

そして設計的、施工的条件より調整シム量を集約して、任意シム法によってきめる。

(3) 2次計測結果

このシム調整によって、前述の主桁の応力度の変化は、最大120kg/cm²位である。ケーブル張力誤差は誤差図(図-14)から明らかなように、全ケーブルが管理目標値の半分以下であり、1~-3ton位である。

1次計測値からの調整量をみると、全てマイナス側だった誤差がプラス・マイナスになり、さらに絶対値も小さくなり、良い結果が得られている。

主桁の鉛直変位の計測結果をみると、下流側に10mm強の誤差が2ヵ所あるが、それ以外は全て1桁のオーダーであり、良い結果が得られている。

主塔の倒れの計測結果をみると、その誤差は下流側で-13から4mmに、上流側で10から10mmになった。一応主塔の捻れが減少し、かつ管理目標値の半分以下に収まった(図-15参照)。

8. まとめ

鋼桁架設完成時における精度管理は、予想以上に良い精度に収めることができた。

これは主桁が箱桁のみで、有効幅から生ずる剛性の不明確さがなく、架設荷重が少なく、クレーンのような重量が大きくかつ、その値が不明確なものが載荷されていないことなどによるものと思われる。

但し、この後打設するコンクリート床版は打設する順序で硬化し、非合成桁とはいえ、剛性を付与することになる。そこで付加剛性を切断するために、また施工性を考慮して3回に分けて(1回が橋軸方向距離25m位)、なおかつ主塔を挟んで荷重が対称となるように打設した。

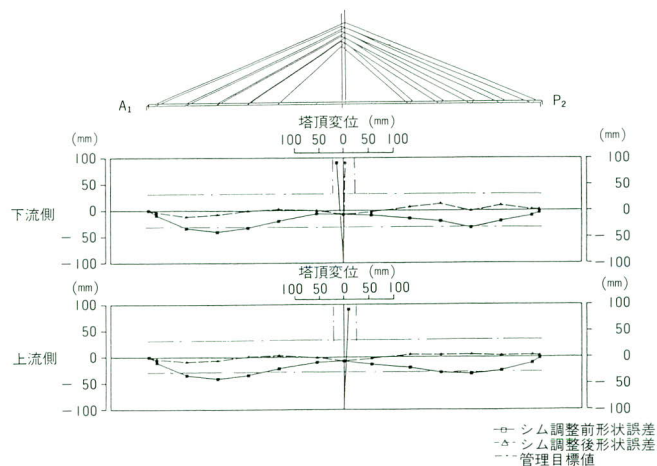


図-15 シム調整後の形状誤差

9. あとがき

本稿を執筆するに際して、長野県大町建設事務所の皆様に御協力戴きましたことを紙上を借りて感謝いたします。

<参考文献>

1) 能登; 斜張橋架設時の精度管理システムの開発、宮地技報7号、1991.2

2) 藤沢; 斜張橋架設時のシム量決定方法、橋梁と基礎18巻9、10号、昭和59年9月・10月

3) 能登、西森、松田; 川津大橋(ニールセン橋)の架設時の精度管理、第46回年次学術講演会概要集(1)、1991

4) 能登、町屋、山下; 新万代橋の架設時の精度管理、第47回年次学術講演会概要集(1)、1992

1994.6.25受付

グラビア写真説明

住友海上名古屋ビル

このビルは、住友海上の創業百周年記念事業として計画されました。場所は市の中心地栄2丁目です。

このビルの大きな特徴は、1階から6階にクラシック専門の音楽ホールが設けられている事です。

ホールは、客席数723席でワンルームシューボックススタイルと言われるものです。音響効果をも高める為のさまざまな工夫がされた最高水準の本格的ホールです。外観は、都市景観を配慮し、パイプオルガンをイメージした美しい形をしています。

将来名古屋市の音楽文化の発展と憩いの場所として大きく貢献する事と思います。

(泉(義))

TBS放送センター建設工事

TBS放送センターの建つ場所は、江戸時代から政治経済の中核である丸ノ内、霞ヶ関地区に隣接した武家屋敷から現在はホテル、商店街、及び閑静な住宅街を持つ独特な立地環境をもった場所です。その中で現在あるTBSの裏側の小高い丘陵地を削り取った跡地に高層棟、中層棟、低層棟からなる3棟を有するボリュームのある建物です。そしてその内部は21世紀に向けた放送をにらんで時代に先駆けたメディアの受、発信基地として情報の多様化、多元化に対応して先進のハイテク機器を装備した大小16のスタジオと屋上100mに巨大な帽子をかぶった様な全体で600tを有する大パラボラアンテナを持つ赤坂のシンボリックな建物となった。当社の施工した範囲は高層棟の基幹部の重要な極厚鋼板の部分と中層棟の一部を担当し、高層棟の現場工事(本締、溶接)の半分を施工した。更にファブ15社の代表幹事会社として鉄骨全体をまとめ上げた全社的な組織力の結晶として意義のある建物であると思います。尚平成6年10月3日より公募した愛称ビッグハットとしてTBSの本放送が開始されました。

(中村 勇)