

パソコンを用いたニールセン橋の施工管理システムについて

川田工業（株）○枝元 勝哉
川田工業（株）西土 隆幸
川田工業（株）宮地 真一
川田工業（株）前田 研一

1. はじめに

一般に橋梁の架設時には、部材の製作誤差や架設誤差、あるいは構造解析時のモデル化に伴う誤差などに起因して、実際の計画形状や設計応力に対しある程度の誤差を生じる。とくにニールセン橋の場合には、その複雑な構造のため架設に伴う誤差が生じ易く、主構の安全性確保のために、適切な架設時点で斜材張力および桁形状の確認計測を行い、必要に応じてシム調整により誤差の改善を図ることが望ましい。

本文は比較的安価で機動性・可用性に富むパソコンを主体として、自動計測から最適シム計算、および最終結果出力までを一連の流れで処理できるシステムの開発と、その適用事例について報告するものである。

2. システムの構成

図-1に本システムの基本機器構成を示す。

システムはパソコン本体に加え、FFTアナライザを始めとする各種計測機器と、計測結果や調整結果を表示するための各種出力装置から構成されている。またこの他に、測定値に対する温度補正計算や荷重補正計算、あるいは最適シム計算時に必要な、各種影響値データの納まったデータディスクを必要とする。

以上の装置類は、パソコンのOS上にて稼働するさまざまなアプリケーションプログラムにて制御され、必要に応じて測定、計算あるいは出力を行う。

3. システムの流れ

架設現場における計測・調整業務の流れをまとめると図-2に示すとおりである。

まず始めに現架設段階における斜材張力および桁の縦断形状の測定を行い、測定値に対する温度・荷重補正を施した後、パソコン上にて測定結果の評価が行われる。評価の結果、測定値が現架設段階における設計計画値と比較して満足のゆくものであれば、そのまま結果の出力を行う。一方、設計値と比べ測定値に著しい誤差が認められた場合には、最適シム計算によるシム調整量の算出に進む。計算されたシムの施工後、再度計測を行い、調整による効果の確認を行う。

3.1 計測

計測業務は大きく分けて、張力計測、桁形状計測、温度・荷重補正の3つの部分に分けられる。

(1) 張力計測

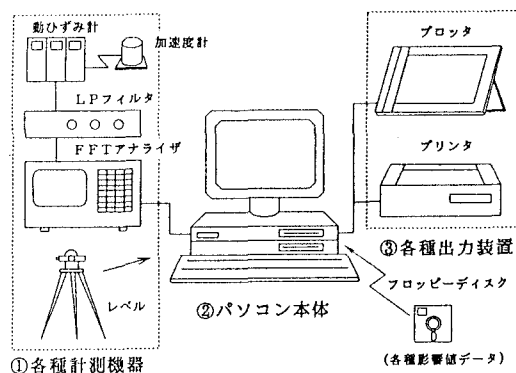


図-1 システム構成図

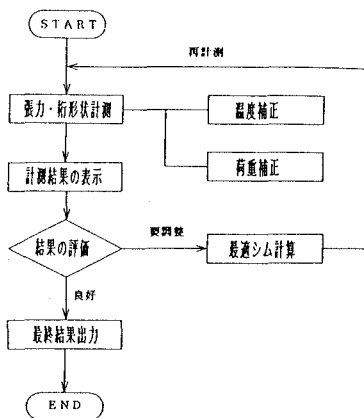


図-2 システムの流れ

張力計測には過去の使用実績も多く、測定方法も比較的簡便な振動法を用いることにし、現場での測定に際し予備実験を行っておき、あらかじめ斜材の曲げ剛性や支持条件などの影響を把握しておく。

振動法は弦における張力と固有振動数の関係を利用したもので、その基本関係式は以下の通りである：

$$T = \alpha \cdot \frac{4 w l^2}{n^2 g} \cdot f_n^2$$

ここに、Tは斜材の張力、wは単位長さ当たりの重量、lは斜材長、gは重力加速度、f_nは斜材の第n次固有振動数であり、αは予備実験により得られる補正係数である。

斜材の固有振動数の測定は歪型加速度計と呼ばれる小型のピックアップを斜材に取り付けることによって行う。これは斜材の常時微動を検出し電気信号に変換するための装置で、変換された信号はFFTアナライザによりリアルタイムに解析される。このときの固有振動数のパソコンへの入力方式として以下の3通りが用意されている。

- ① FFTアナライザ（自動計測）：FFTアナライザをGP I Bインターフェースを介して接続されたパソコン上にて操作し、固有振動数を求める。
- ② FFTアナライザ（手入力）：FFTアナライザ単独で固有振動数を求め、得られた結果のみをパソコンに入力する。
- ③ パソコン上での直接計測・解析：パソコンにA/D変換ボードを組み込むことにより、直接パソコン上にてFFT解析を実施し固有振動数を求めるもので、FFTアナライザは不要である。

(2) 桁形状計測

桁形状の測定には、以下の2方式が用意されている。

- ① レベルによる計測（手入力）：レベルを用いて計測した値を手入力にてパソコンにインプットする。
- ② 連通管式変位計¹⁾による計測（自動計測）：桁の標高差に伴う圧力水頭の変化を自動デジタルひずみ測定器を介した連通管式変位計にて自動計測する。得られた圧力（ひずみ）値はGP I Bインターフェースを介してパソコンに転送され、水頭値に変換される。

以上のようにして求まった測定値は、パソコン内で任意点を基準とする相対標高値に直される。

(3) 温度・荷重補正

測定された値には、温度による誤差や、設計時には予期されていなかった荷重による誤差が混入している場合があるため、結果の評価前にこれらの影響を極力取り除いておく必要がある。

通常は、ある任意の部材に単位温度変化が生じた場合や、任意の格点に単位荷重が載った場合の張力および形状の変化量を予め大型計算機などを用いて求めておき、これをディスクに影響値データとして保存しておく。あとは現地にて温度や荷重変化量の実測値を求め、影響値データと掛け合わせることで、所要の補正値が計算される。ただしニールセン橋の場合、アーチ部分の正確な温度分布を求めるには、相当数の温度測定点数を必要とするので、実際問題としては、橋全体の温度がほぼ一樣になる時刻まで待つてから計測を行う方が、温度の測定・補正作業はより簡便に行える。

3.2 結果の評価

温度・荷重補正が施された後の測定値をディスプレイ上に表示したり、あるいはプリンタ、プロッタに出力的ることによって、設計者による誤差の評価がなされる。誤差の表示法には、設計値との絶対差で表す方法と、設計値に対する相対比で表す方法の2通りが考えられるが、前者は桁形状の誤差を表示するのに適し、後者は斜材張力誤差の表示に適す。ただし張力の場合、安全性の評価としては絶対誤差で表示しておいた方が便利なので、本システムの場合にも絶対誤差表示を採用している。

3.3 シム調整

測定結果の評価の後、斜材張力あるいは桁形状に顕著な誤差が認められた場合には、最適シム計算に基づ

くシム調整を行い、誤差の改善を図る。

(1) 最適シム計算

ニールセン橋は内的に高次の不静定構造物であるため、設計者が主観的に調整シム量を判断するのは、誤差が局部的に発生している場合を除き、極めて困難である。したがって、何らかの最適化手法を用いてシム量の算出を行わなくてはならない。この点に関しては、従来より線形計画法²⁾、共役勾配法³⁾、および最小2乗法⁴⁾などが実際の調整に用いられてきたが、反復計算を必要としないこと、プログラミングが容易であることなどを考慮して、本システムでは最小2乗法を採用した。

最小2乗法では、張力と桁形状という異なる単位の物理量を同列に取り扱う必要が生じるため、これらの値を基準化するための重み係数が必要になってくる。本システムの場合には、事前に全ての斜材、桁格点に対する張力および変位誤差の最大許容値を決めておき、実際の測定誤差をこれらの許容値に対する相対比で表すことにより、この問題を解決している。

(2) 任意シム計算

例えば誤差が端部の2, 3本の斜材に限られる場合など、設計者の主観的な判断でシム量を決定できる場合も少なくない。本システムではこのような場合も想定して、任意の斜材に任意のシム量を施工した場合の応答計算も可能なようになっている。

(3) 調整後の応答予測

以上のようにして算出されたシム量を、実際に施工した場合の応答予測値は、ディスプレイ上や各種出力装置にて確認することができ、いく通りかのシム調整ケースの中から設計者が最良と判断するものを選択できるようになっている。

3.4 最終結果出力

シム調整後はただちに確認計測に入り、調整後の残留誤差の確認ならびに応答予測値との比較を行い、調整効果の有無を判断する。結果の如何によってはシム計算、および調整を上記の手順に従って繰り返すことになるが、過去の経験では通常1～2回の調整でほぼ許容誤差内に納まっている。

最終的な計測結果は、表形式やグラフ形式にて出力することが可能である。

4. 適用例

以下に本システムを実橋へ適用した例を示す。

4.1 対象モデル

図-3に対象とした橋梁の一般図を示す。

対象とした橋梁は、支間長108mのバスケットハンドル型のニールセンローゼ桁である。本橋の計測・調整は、主橋の架設が完了後、床版打設に着工する前に行った。

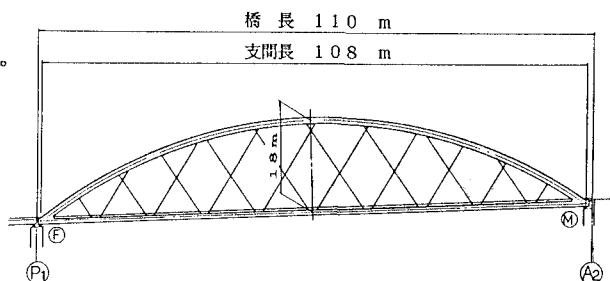


図-3 対象とした橋梁

なお前述したように、計測は橋梁全体の温度分布がほぼ一樣になる時間帯を選んで行ったので、温度補正の必要は実用上無かった。

4.2 計測および結果

図-4, 5に斜材張力および桁形状の第1回測定結果を示す。

図-4は設計張力を0としたときに、各斜材に生じている誤差を折れ線表示したものであり、許容張力の目安として、設計張力の±20%を設定した例である。図から、斜材番号3, 5, 7, 8, 9, 11, 18の斜材に顕著な張力誤差が認められる。

桁形状に関しても図-4のような表示が可能であるが、橋梁全体の誤差形状を視覚的に把握するために図-5のような立体モード図でも表示可能になっている。なお立体骨組図の作成には構造解析時に用いたデータを使用しており、これをパソコン内に取り込むことにより、任意の視点からの立体モード図が描かれる。

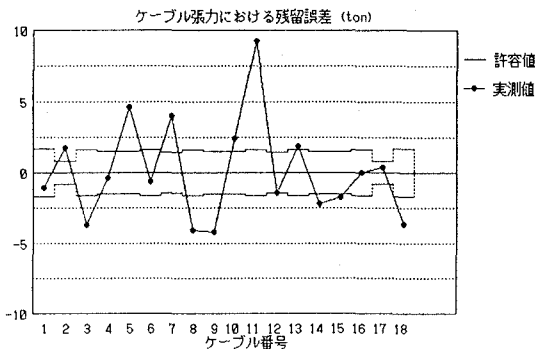


図-4 張力残留誤差 (調整前)

4.3 シム調整

図-4, 5から張力および桁形状には、シム調整による誤差の改善が必要と思われる。

シムの調整量の算出には、3.3で述べた最小2乗法による方法を適用し、求められた最適シム値を実際に施工可能な値に丸めて、シム施工後の応答予測計算を行った。シム調整量とシム施工後の応答予測値の一覧表を表-1に示す。

4.4 調整結果

前節で求めた最適シムを調整した後に、再度計測した斜材張力および桁形状の値を図-6, 7に示す。

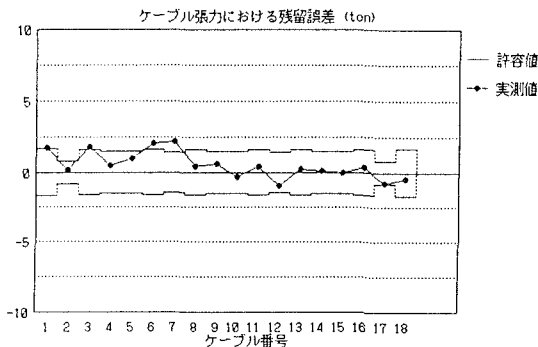


図-6 張力残留誤差 (調整後)

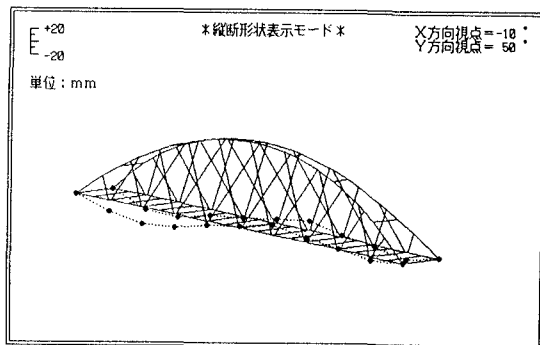


図-5 縦断形状誤差 (調整前)

表-1 シム調整量および応答予測値

最適シム計算		残留張力誤差		(上流側)		計算ケース : 1	
No.	設計張力 (ton)	測定張力 (ton)	誤差 (ton)	シム調整量 (mm)	応答予測値 (ton)	残留誤差 (ton)	
1	8.360	7.100	-1.260	7.000	9.647	1.287	
2	4.130	5.900	1.770	6.000	4.498	0.368	
3	8.210	4.400	-3.810	16.000	9.034	0.824	
4	7.480	7.100	-0.380	14.000	8.481	1.001	
5	7.400	12.000	4.600	8.000	8.431	1.031	
6	8.020	7.400	-0.620	14.000	9.442	1.422	
7	7.130	11.100	3.970	2.000	7.941	0.811	
8	7.970	3.900	-4.070	11.000	8.467	0.497	
9	7.590	3.400	-4.190	0.000	7.813	0.223	
10	7.590	10.000	2.410	-3.000	8.068	0.478	
11	7.970	17.200	9.230	-22.000	7.927	-0.043	
12	7.130	5.700	-1.430	-5.000	7.624	0.494	
13	8.020	9.900	1.880	-10.000	8.338	0.318	
14	7.400	6.200	-1.200	0.000	7.038	-0.362	
15	7.480	5.700	-1.780	3.000	7.776	0.296	
16	8.210	8.200	-0.010	5.000	8.506	0.296	
17	4.130	4.400	0.270	4.000	4.501	0.471	
18	8.360	4.300	-4.060	5.000	8.362	0.012	

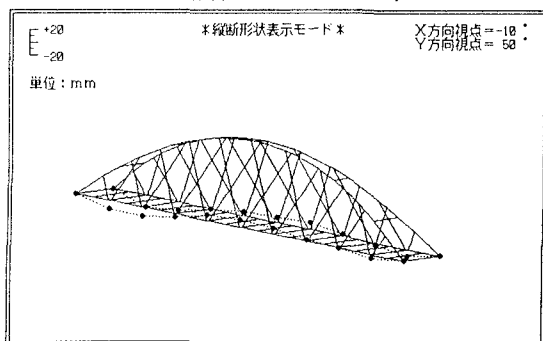


図-7 縦断形状誤差 (調整後)

図-6から斜材張力においては、調整前にくらべかなりの改善効果が認められ、また図-7から桁形状についても正規の標高に近づいていることが分かる。

5. おわりに

デスクトップ型のパソコンを主体とした、ニールセン橋の施工管理システムについて報告を行ったが、今後は本システムをベースに、ラップトップ型パソコンなどを用いてシステムの小型・計量化を図り、またシステムに構造解析ソフトを組み込むことにより、より機動性の高いシステムに発展させてゆきたい。

参考文献

- 1) 枝元・町田・橋・前田：斜張橋桁形状自動計測のための連通管式変位計の検討，土木学会第45回年次学術講演会，1990年9月。
- 2) 木舟・沖田・渡辺・吉田・西土：瀬底大橋の設計と施工，川田技報，Vol.4，1985年1月。
- 3) 松村・頭井・新家・寺西：斜張橋のケーブル張力計測と張力調整，橋梁と基礎，1979年8月。
- 4) 藤澤：斜張橋架設時のシム量決定方法（上）、（下），橋梁と基礎，1984年9月，10月。