

ニールセン橋梁のパソコン管理システム

Computer control Systems for Quality Assurance of Nielsen Bridges

前 田 研 一*
Ken-ichi MAEDA

西 土 隆 幸**
Takayuki NISHIDO

枝 元 勝 哉**
Katsuya EDAMOTO

宮 地 真 一***
Shin-ichi MIYACHI

1. まえがき

ニールセン橋は内的に高次の不静定構造物である一方、現地における架設には斜吊り工法などの複雑な工法が用いられることが多いため、架設にともなう誤差が生じ易い。またこの他にも、部材の製作誤差や構造解析時における荷重や剛性の評価による誤差など、誤差の発生要因は非常に多岐にわたる。このような理由から、架設完了時におけるニールセン橋の斜材張力や桁形状には、通常ある程度の誤差が生じており、適切な架設時点で張力および桁形状の確認計測を行い、必要に応じて斜材のシム調整により誤差の改善を図ることが行われている¹⁾。

本文は比較的安価で融通性に富むパソコンを主体として、計測から調整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 にシステムの基本的な構成図を示す。

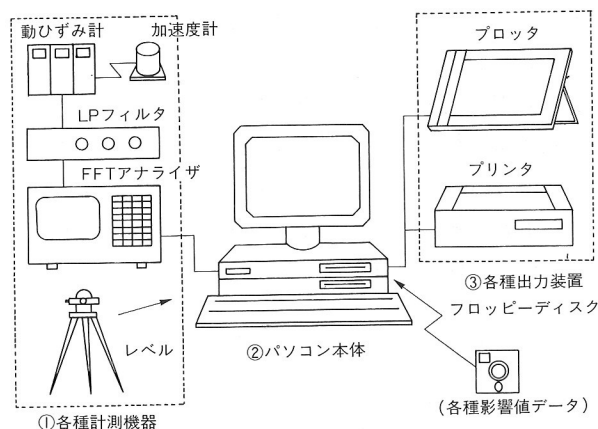


図-1 システム構成図

システムの基本的な構成要素は、①各種計測機器、②パソコン本体、および③各種出力装置である。近年、長大斜張橋の架設時精度管理システムなどでは、荷重補正計算や最適シム計算を行うためにパソコンと大型汎用機をオンラインしたり²⁾、あるいはパソコンとスーパーミニコンピュータの間を、フロッピーディスクを介してデータのやりとりを行った例³⁾が報告されているが、ニールセン橋の場合はその規模および測定回数を考えると、作業性あるいはコストの面からみて、より簡便なシステムが望ましい。本システムの場合も、単位荷重や温度あるいは単位シムの構造物に対する影響値をあらかじめ計算しておき、これをパソコン本体に組み込み、現場において迅速に処理する方法を採用している。

3. システムのフロー

この章では、図-1 に示した機器構成の中で、計測から調整までをどのようなフローで処理していくのかを説明する。図-2 にシステムの基本的なフローを示す。

(1) 計測

a) 張力計測

斜材張力の計測には、比較的簡単でかつ使用実績も多い振動法を用いることにする。また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の影響などを把握しておく。

振動法の考え方は、弦における張力と固有振動数の関係に基づくもので、両者の基本関係式は次のとおりである。

$$T = \alpha \cdot \frac{4wl^2}{n^2g} \cdot f_n^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここに T は斜材の張力、 w は単位長さ当たりの重量、 l

*川田工業㈱技術本部中央研究室室長 **川田工業㈱技術本部中央研究室 ***川田工業㈱技術本部振動研究室

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, また α は予備実験により得られる補正係数である。

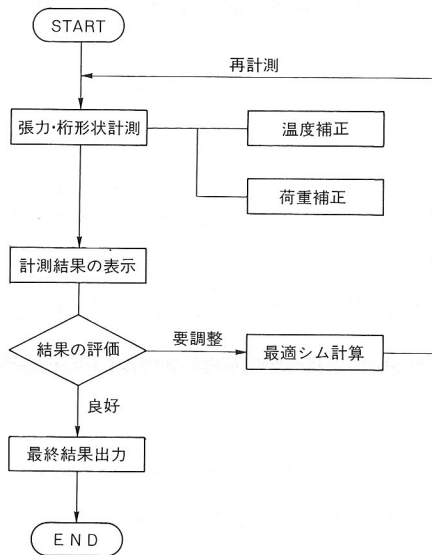


図-2 システムのフロー

図-1において, 斜材に取り付けた加速度計が斜材の微小振動を感知し, これを電気信号としてFFTアナライザに送信することにより, 当該斜材の固有振動数が検出される。この後, 式(1)に得られた振動数の値を代入すれば, 張力 T が算出される。

FFTアナライザとパソコンとは, GPIBインターフェースを介してデータのやりとりを行う方式と, 手入力にて測定結果をパソコンに入力する方式のどちらかを選択できるようになっている。さらにパソコンに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解析を実施する方式が選択できるようになっており, この場合には加速度計に高感度のサーボ型加速度計を用いることにより, より精度の高い計測が可能である。

なお, 張力測定の際に斜材のサグや曲げ剛性の影響をより詳細に考慮したい場合には, 新家等の提案する実用算定式⁴⁾も取り扱えるようになっている。

b) 桁形状の計測

桁形状の計測にはレベルを用いるものとし, 測定データは手入力にてパソコンにインプットする。パソコンに入力された後は, 任意点を基準とする相対標高値に直される。なお桁形状の計測に際し, 連通管式変位計⁵⁾を用いて自動計測を行うことも可能であるが, 前述したようにニールセン橋ではコスト高になるおそれがあるため, レベルによる計測を行うことにした。

c) 温度補正

ニールセン橋は, 上弦材が橋軸方向に関して放物線形状になっており, 日光の照射される角度によって弦材温

度に偏りが生じる。またバスケット形式のものについては, 両主構において温度差が生じる。したがって日中の温度補正はかなり複雑なものになり, またそのための温度測定点数も非常に多くの数を必要とする。このような理由から本システムでは, 測定時間帯を夜間もしくは早朝など比較的部材間の温度差が少ない時間帯に限定し, 全部材が一様に温度変化した場合のみの温度補正を加えるようにしている。

(2) 誤差の評価

測定した張力および桁形状を, ディスプレイ上に表示したり, あるいはプリンタやプロッタに出力することによって, 誤差の評価が設計者によって行われる。この誤差の中には冒頭に述べた架設にともなう誤差のほか, 部材の製作誤差や死荷重算定誤差, あるいは測定誤差などが含まれるが, いずれにしても誤差量が当初設定した許容値を越える場合には, シム調整により誤差の改善が図られる。

(3) シム調整

a) 最適シム計算

調整を行うのに最適なシム量の算出方法には, 線形計画法⁶⁾, 共役勾配法⁷⁾, あるいは最小2乗法⁸⁾などが実際に適用されているが, 反復計算を必要としないこと, 張力誤差と桁形状誤差の改善の度合いを変えられること, プログラミングが容易であることなどを考えて, 本システムでは最小2乗法を用いることにした。

各斜材を Δl だけ調整した際の, 斜材張力および桁形状の変化量をそれぞれ ΔT , ΔD とすると以下の関係式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta l \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta D \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

式(2)における係数マトリクス A , B はそれぞれ単位シムによる張力および変位の影響マトリクスであり, 構造解析計算により求めることができる。

この式の右辺に, 実際に調整すべき誤差量を代入してやり連立方程式を解けば, 求めるシム量が得られるが, この式は未知数に比べ方程式の数が多い条件過多の式であるから最小2乗法を適用することになる。また式(2)には, 張力と変位という異なる次元を持つ物理量が含まれるため, 方程式を解く前に何らかの方法で無次元化をしておかねばならない。本システムの場合には, 事前に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の許容値に対する比で表すものとした。このようにすることにより, 張力および変位は同列に取り扱うことが可能になる。

b) 調整後の応答予測

最適シムが求まったあとは、これらのシム量を実際に施工した場合の斜材張力および桁形状に関する応答予測が行われる。ただし現地の架設状況、シムの施工方法等によっては、調整が不可能な斜材もあり、また工程的にみても調整本数は少ない方がよいので、本システムでは最適シム計算に用いる斜材、すなわち実際にシム調整が可能な斜材を特定のものに限った計算も行えるようになっている。この機能は誤差が局部的に発生している場合など特に有効である。さらに計算により求まったシム量と実際に施工可能なシム量とは異なる場合もあり、また設計者の主観的な判断を取り入れたい場合も考慮して、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行えるようになっている。以上のようにして求まった応答予測値はディスプレイ上やあるいはプリンタ、プロッタ出力でも確認することができ、いく通りかのシムの組み合わせ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。

(4) 結果の出力

シム調整が行われたあとはただちに確認計測に入り、シム調整後の残留誤差の評価、および応答予測値との比較を行う。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、通常1～2回の調整で満足のいく結果が得られるはずである。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

この章では上記システムを実橋に適用した例を示す。

(1) 対象モデル

図-3に対象とした橋梁の一般図を示す。

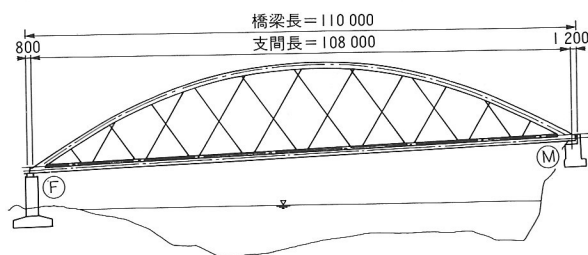


図-3 対象とした橋梁

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。計測・調整は主構の架設が完了後、床版打設に着工する前に実施した。

なお、事前に温度による影響解析を実施した結果、上下弦材に10℃程度の温度差を生じた場合には斜材張力や桁形状に無視できない影響を及ぼすことが分かったため、計測は午後の比較的温度差の少ない時間帯を選んで行った。このときに測定された最大温度差は3℃程度で

あり、張力および形状への影響は無視できるものと思われる。

また、全部材が一様に温度変化した場合の温度補正值も、本橋の場合には実用上無視できる程度の値であったので、測定値は補正を行わずそのままの値を使用した。

(2) 計測結果

図-4、5に斜材張力および桁形状の計測結果を示す。図-4は設計張力を基準としたときに、各斜材にどれだけの誤差が発生しているかを示したものであり、許容誤差の目安として、各斜材に対して設計張力の±20%を設定してある。

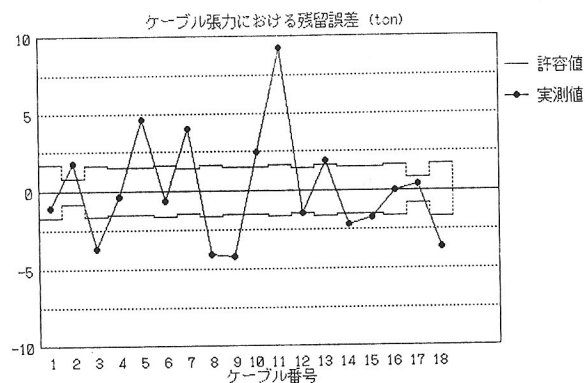


図-4 張力残留誤差(調整前)

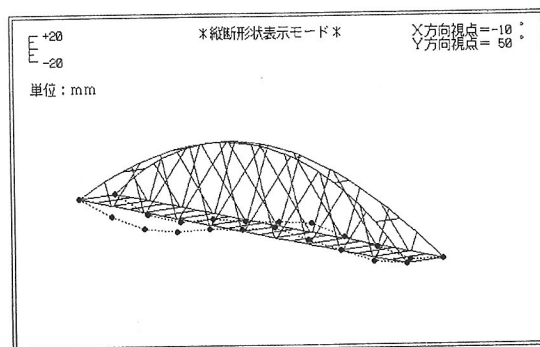


図-5 縦断形状誤差(調整前)

桁形状に関しても図-4のような表示が可能であるが、より視覚的に分かりやすくするため図-5のような表示も可能になっている。図-5は立体構造解析時に使用した形状データをそのままパソコン内に取り込み、任意の視点からみた橋全体の形状図および桁形状誤差を表したものである。

(3) シム調整

図-4、5から分かるとおり、張力および桁形状ともかなりの誤差を持っているためシム調整が必要である。

シムの調整量は3。(3)で述べた最小2乗法に基づき求めたものを使用した。また表-1に最適シム計算により求めたシム調整量とシム施工後の応答予測値を示す。

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						
N o .	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	8.350	7.100	-1.250	7.000	9.647	1.297
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	8.058	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	5.200	-2.200	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	4.601	0.471
18	8.350	4.300	-4.050	5.000	8.362	0.012

(4) 調整結果

図-6, 7にシム調整後の斜材張力および桁形状の再計測結果を示す。図-6から分かるように張力の誤差は調整前にくらべかなりの改善が図られている。また形状についても、よりなだらかな曲線になっていることが分かる。

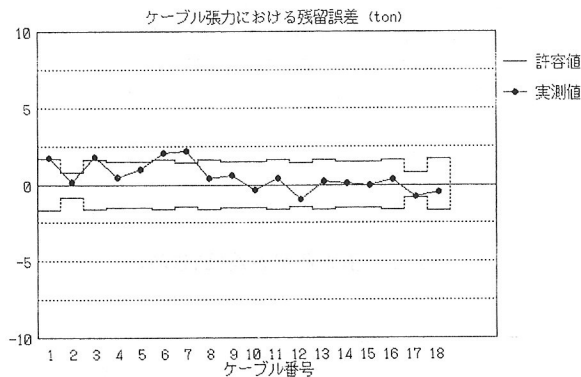


図-6 張力残留誤差(調整後)

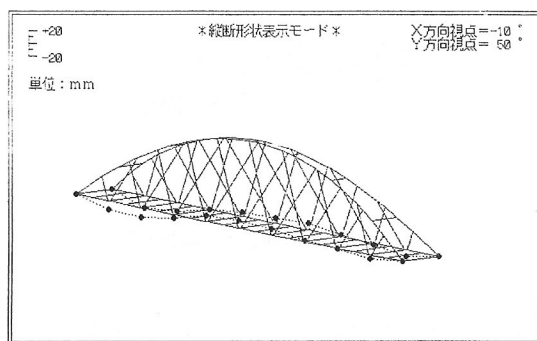


図-7 縦断形状誤差(調整後)

5. 今後の課題

今後の検討課題として以下の事項が考えられる。

- ① 管理値および単位温度やシムによる影響値は、あらかじめ大型コンピュータにて計算したものをディスクケットに保存し、これをパソコンに取り込むようにしたが、この場合現場において設計変更が生じた時など再度大型機で計算をしなくてはならないので不便である。したがって、今後はパソコンで構造解析が行えるようなソフトをシステムに組み込むこと

を考える必要がある。

- ② 自動計測の際に注意を要するのは、ある一つの計測器が故障したためにシステム全体が稼働不能になってしまう場合である。このような事態を避けるために、各計測器を制御するシステムルーチンは独立構造にしておき、万一計測器が故障したときにも手入力にて作業が進められるような配慮が必要である。

- ③ 最近パソコン関係のハードウェアの開発速度はめざましいものがあり、ここ数年の後には現在のデスクトップ型のパソコンの能力を上回るラップトップ型パソコンなどが登場してくるであろう。したがって現場での稼働性などを考えて、システム全体をより小型軽量化していく必要があるであろう。

参考文献

- 1) 木船・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。
- 2) 西岡・片山・内海・前田・町田・越後：本四斜張橋・櫃石島橋の面材架設時施工管理システムの開発，川田技報，Vol.6，1987年1月。
- 3) 谷野・上野・山田・黒木・水上・松浦・小松：「安治川橋梁」の架設と精度管理システム，川崎重工技報，103号，1989年8月。
- 4) 新家・広中・頭井・西村：振動法によるケーブル張力の实用算定式について，土木学会論文報告集，第294号，1980年2月。
- 5) 前田・片山・内海・町田・橋・枝元：斜張橋桁形状計測のための連通管式変位計の検討，川田技報，Vol.9，1990年1月。
- 6) 藤井・黒田・中崎・宮本：本川大橋工事報告，川田技報，Vol.1，1978年10月。
- 7) 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。
- 8) 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。