

II-17 長径間吊橋を対象とした架設支援システムの開発

川田テクノシステム㈱ 石井喜代志 杉原 賢治 山野 長弘
藤江 和久 池田 俊雄

1. まえがき

長径間吊橋の架設を行う際には、橋そのものが可撓性に富んだ構造であることから、架設進行状況に応じて全体形状やハンガー張力を管理する必要がある。したがって、架設途中においては実際の荷重条件および解析条件を考慮し、構造解析をリアルタイムで処理することが望ましい。従来これらの計算は、ハードウェア資源の制約や計算コストの問題から2次元モデルを対象に行われていた¹⁾。

しかし、近年のコンピュータ技術の飛躍的な進歩にともない、大容量の演算を高速で処理することができるEWS（エンジニアリングワークステーション）やパーソナルコンピュータが、比較的安価に入手できるようになってきた。このような状況のもと、著者らは、現場に設置されたEWSおよび複数のパソコンにより小規模LAN（Local Area Net Work）を構成し、一連の作業を自動的に処理できるシステムを構築した。本システムでは、風や地震などの面外荷重や橋のねじれ挙動を考察するため3次元の有限変位解析機能を有するソルバーが取り入れられている。更にデータ作成の省力化や解析結果を容易に把握する事ができるよう、GUI（グラフィカルユーザーインターフェース）の手法を用いたプリ・ポストシステムが組込まれている。

本論文は、以上のシステムの概要および機能説明を行うものである。

2. システムの概要

2-1 システムの構成

本システムは、図-1に示すようにEWSをサーバー、パソコンをクライアントとしたLAN上に構築されている。更に高速デジタル回線を用いれば、WAN（Wide Area Net Work）への拡張も容易である。

本システムでは、クライアントであるパソコン自体がデータ処理機能を有しているので、サーバーのファイルを直接編集できるとともに、複数のユーザ間で共有することができる。また、システムの操作にはGUI手法を多用しているので、ユーザーは簡単なマウス操作でシステムを容易に取り扱うことができる。

2-2 計算の流れ

本システムで採用している架設計算は、完成形状を基準とした一括解体計算である。予め架設計画の段階で想定される部

材や荷重を登録し、このデータをもとに架設進行状況に応じてデータに変更を加えることで架設状況に対応した解析データを作成することができる。

本システムでは、架設計算の目的から、以下の3項目に着目している。

(1) 解体計算

吊橋は、完成系と架設系では部材力や橋体の形状が大きく異なる。そのため架設進行に先立ち、予め変位、断面力などを算出しておくものである。

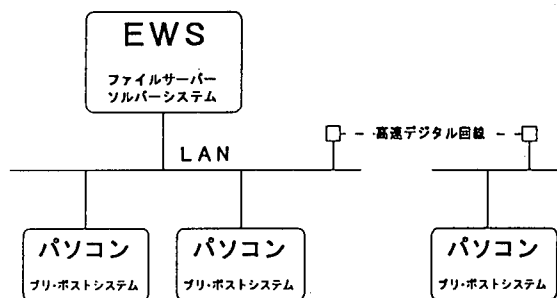


図-1 ネットワークの構成

(2) 張力調整

補剛トラスの連結法に逐次剛結工法を採用した場合、架設先端部のハンガーや主構トラス斜材などが過応力となる場合がある。この過応力を低減させるためには、隣接するハンガーの定着長を調整し等張力化を図ることで対処するが、その際に必要となる最適な引込量を予め算出しておくものである。

(3) 形状管理

代表的な架設段階においては、形状管理の際に計測される部材力や橋体の形状などの実測値と計算値を比較する。そのため、架設進行状況に即した解析データでこれらの値をリアルタイムに算出するものである。

以上の目的に対する一連の計算実行手順を以下に説明する（図－２）。

- ①完成形状を決定する計算を予め実行し、解析データとしてEWSに登録する。
- ②架設計算の目的に応じ、EWSよりパソコンへ解体計算・張力調整・形状管理のデータを読み込む。
- ③プリプロセッサを用いて解析データを修正し、EWSに登録する。
- ④EWSで計算を実行する。
- ⑤EWSよりパソコンに計算結果を読み込み、画面表示、プリンタ出力をする。

以上の操作を、ユーザはパソコン操作のみに
よって行うことができる。

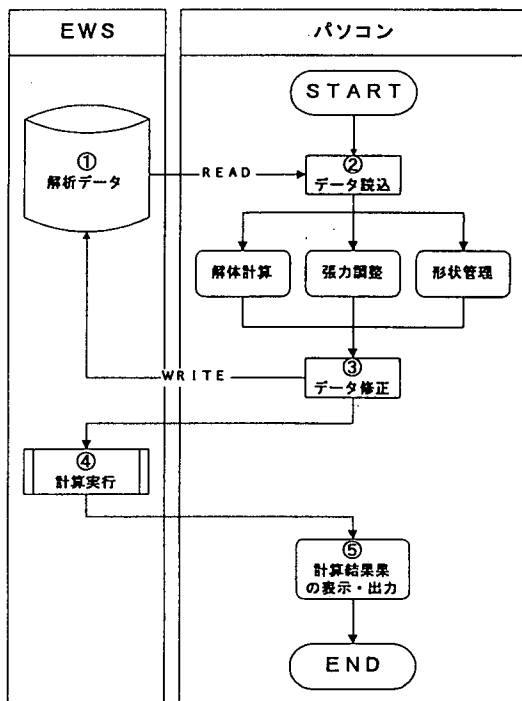


図-2 架設計算システムの概要

3. プリ・ポストシステム

3-1 プリ・ポストの特徴

本システムの特徴は、EWSに登録された解析データをネットワーク上の複数のパソコンユーザーが共有し、各々がデータの修正を行い計算を実行できることにある。その結果、登録されたデータと架設進行状況に差が生じても速やかに対処できるため、常に実際の構造を反映した解析データを用意することができる。

なお、解析データ作成時にはGUI手法を取り入れているため、マウス操作のみによるデータ作成作業となる。また、視覚的にデータを確認することで入力ミスを低減することができる。

3-2 解析データの作成

EWSに登録してある基本データを呼び出すと、図-3の解析データ

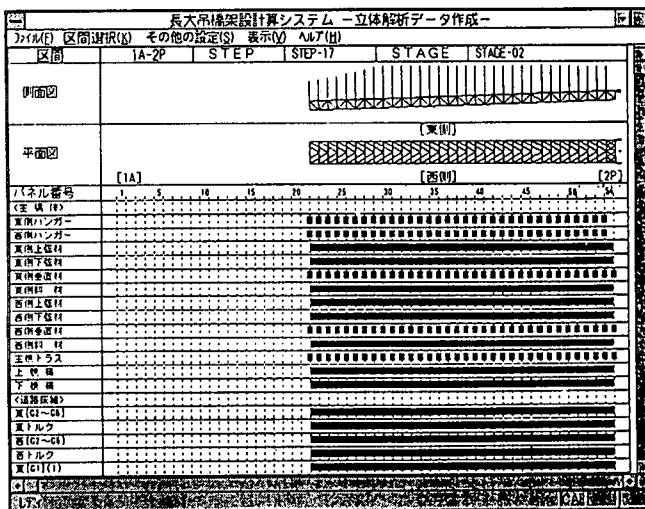


図-3 解析データの作成

作成画面が表示され、この画面上でのマウス操作によって、部材あるいは荷重毎にパネル単位で追加・除去を選択し解析データを作成する。

また、面材として取り扱う部材を各部材単位に分解することも可能であり、任意の解析データを作成できる。

なお橋体の自重は、構造データと連動しており、部材を取り外すことで対応する荷重も除去されるため、データの矛盾を無くすることができる。

更に、荷重強度、載荷点などをマニュアル入力することもでき、節点荷重、部材集中荷重、部材等分布荷重、温度荷重などを任意に載荷できるとともに、部材特性や無応力長の変更、支点の追加・除去、結合条件の変更などを部材単位で設定できる。また、編集集中の骨組は、回転、拡大・縮小をして、任意の方向から視覚的に確認することができる。

3-3 引込量の入力

本システムでは、4個所の架設先端部についてダブルハンガーを考慮した最大4格点のハンガーの等張力化が可能である。

等張力化に必要な調整引込量は、適当な引込量を入力すると自動的に算出され、計算結果、架設先端の桁の横断・縦断勾配を画面表示する。

ハンガーの調整引込量は自動的に算出されるが、算出方法として次の2つの手法が考えられる。第1の方法は、図-4に示すような架設先端部において、主構面A、Bを片主構毎に等張力化させる方法で、主構面によって各ハンガーの格点の引込量の値が異なる。第2の方法は、AB両主構面のハンガーをそれぞれ1組として引き込む方法であり、両主構の対応する格点位置におけるハンガー引込量は等しい値となる。

具体的に内部で処理されている計算は以下の通りである。

3格点のハンガー張力を等しくさせるための調整引込量を算出する場合は、架設先端の第1ハンガーと第2ハンガーに適当な引込量を与える。

N_0^i を無調整時の i 番目ハンガーの張力、 N を調整引込量を与えた時のハンガー張力、 N_j^i を j 番目ハンガーに仮引込量 ΔL_0 を与えた時の i 番目ハンガーの張力、また、 ΔL_i を等張力化する調整引込量とすれば、次の関係式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} N_0^1 \\ N_0^2 \\ N_0^3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta N_1^1 & \Delta N_2^1 \\ \Delta N_1^2 & \Delta N_2^2 \\ \Delta N_1^3 & \Delta N_2^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta L^1 / \Delta L_0 \\ \Delta L^2 / \Delta L_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N \\ N \\ N \end{bmatrix}$$

ここに、 $\Delta N_j^i = N_j^i - N_0^i$ 、 N は目標張力を表す。

上式を整理すると次式のようになり、これを解くことによって第1、2ハンガー調整引込量、 ΔL^1 および ΔL^2 が求められる。

$$\begin{bmatrix} N_0^1 \\ N_0^2 \\ N_0^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Delta N_1^1 / \Delta L_0 & -\Delta N_2^1 / \Delta L_0 & 1 \\ -\Delta N_1^2 / \Delta L_0 & -\Delta N_2^2 / \Delta L_0 & 1 \\ -\Delta N_1^3 / \Delta L_0 & -\Delta N_2^3 / \Delta L_0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta L^1 \\ \Delta L^2 \\ N \end{bmatrix}$$

ハンガーの等張力化は、この調整引込量を考慮しハンガー部材長の変更という形で自動的にデータを作成し再計算することによって行われる。

3-4 計算結果の表示

ポストシステムは、任意の計算結果より変形図、断面力図、骨組図、断面カリスト、変位リストな

どを画面表示またはプリンタ出力する機能を有している。これらの出力結果は、竣工図書用の成果品として使用できるように配慮されている。

変形図、断面力図および骨組図は、描画時に画面上で任意に拡大、縮小および視点位置を変更でき、指定した部材についての描画や出力を設定することができる。

断面力、変位および反力のリストは、出力する範囲を選択指定し、テキストファイルに出力することもできるので、表計算などのアプリケーションプログラムを別途用いることができる。

4. ソルバーシステム

NASTRANやCOSMOSなどの汎用プログラムを吊橋の立体骨組解析に適用する場合、初期形状決定など吊橋特有の問題に対して適切な処理機能を別途組み込む必要がある。このようなプログラムの変更作業は、一般のユーザには非常に難しい問題であるが、本システムで適用している有限変位解析プログラム^{2) 3)}は、吊橋特有の設計条件を満足するように解析手法を組んでいる。更にハンガーや種々の架設部材の機能を反映したモデル化に対処するため、緩衝要素や非抗圧要素などを準備している。そこで本架設支援システムでは、ソルバーにこの解析プログラムを導入している。

本解析プログラムは、連立1次方程式の数値解法に変形コレスキー法を用いており、算法としてバンドアルゴリズムとアクティブカラムアルゴリズムを用意している。計算を効率よく行うため、それぞれの算法に対する節点番号のリナンバリング機能を有しており、計算中に使用しない配列を他の配列に転用しているのでメモリスペースに無駄が生じず、大容量の演算処理をEWSで実行可能にした。

5. あとがき

本システムは、トラス形式補剛桁を有する長径間吊橋を対象として架設計算の省力化を図るために開発したものである。そのため本システムを導入することによって、任意の架設系に対して立体有限変位解析による架設管理計算が可能になり、更にEWSとパソコンでネットワークを構成することで低コストでより精度の高い計算結果を得ることができるようになった。また、GUIの手法を用いた簡単なマウス操作でデータが作成できるとともに、入力作業が簡略化されたことからコンピュータの高度な知識が無いユーザでも容易にシステムを扱うことができる。

今後は箱桁形式吊橋や斜張橋にも対応できるよう機能の充実を図り、開発を進めていく予定である。

なお末筆ながら、本システムは長岡技術科学大学・林 正教授のご指導の下、開発することができたことをここに記し、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 前田研一・西土隆幸・内海 靖・斉藤道生：吊橋の設計支援システムと施工管理システム，土木学会 第11回電算機利用に関するシンポジウム講演集，1986。
- 2) 林 正・前田研一・増井由春・内海 靖・山野長弘：長径間吊橋の立体有限変位解析，構造工学論文集，Vol.1，37A，1991。
- 3) 前田研一・斉藤道生・山野長弘・千原申三・林 正：吊橋の設計支援システムにおける立体有限変位解析プログラム，土木学会，第16回土木情報システムシンポジウム，1991。

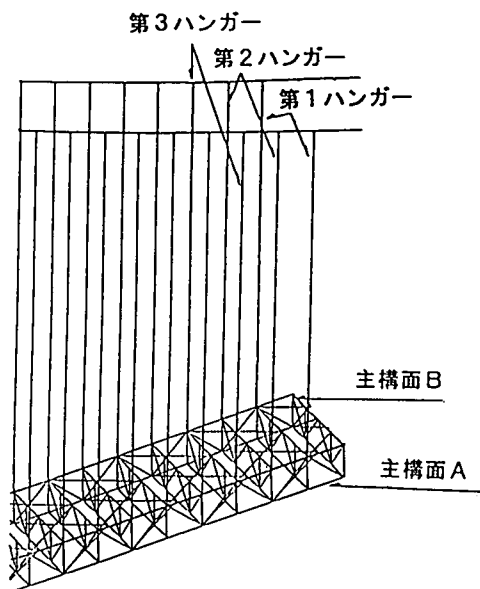


図-4 架設先端