

II-51 複雑な鋼橋上部工での幾何情報の取り扱いと設計・製図での利用

三菱重工業(株) 上村 道夫 橋本 幹司

日本電子計算(株) 飯嶋 淳 ○内山 正 浜津 郁也

1. はじめに

都市部では近年、鋼床版箱桁橋のような複雑な線形を持つ橋梁が多く見られる。これらの橋梁では、厳密な3次元線形計算に基づく形状決定と3次元立体解析による断面力解析に裏付けられた、設計・製図による構造物の製作と架設が必要である。そこで発生する線形情報などは自動設計システムやCADで部分的に使用されているが、設計・製図で十分に活用されていない。その理由は、以下のように土木構造物特有の情報の取り扱いが不十分なためと考えられる。

- クロソイド曲線のような線形情報の取り扱いが不十分で精度を欠き、手作業で欠陥を補うことになる。
- いわゆる汎用3次元CADと類似したモデル化をおこない、細部の複雑な形状処理に破綻をきたす。
- 幾何情報の処理や設計の自動決定のアルゴリズムなどの取り扱いが不十分で制約条件が多い。
- むやみにDB化をはかり情報量の肥大化やデータ間の矛盾を引き起こしたり、動作が緩慢となりデータ入力や操作が複雑となる。このデータ構造をそのままGUI化するため、見栄えのよさに比較して生産性は向上しない。

そこで、以下のコンセプトに基づいて、昨今のパーソナルコンピュータの能力を最大限に活用した、WindowsNT上で作動し、線形情報と構造解析のデータを一貫して利用する、対話形式、バッチ処理の双方に対応した鋼箱桁自動設計・製図システムを作成した。

- 必要最小限のデータをファイルに持たせ、情報量の肥大化やデータ間の重複や矛盾を避ける。
- 高速なCPUの能力を利用して、少ないファイル情報から必要な情報を作成する強力なアルゴリズムを持つ幾何ライブラリと、これを可視化して形状確認を容易にするグラフィックライブラリを作成する。
- 設計や製図で、幾何情報ならびに構造解析情報を最大限に活用してデータ入力の手間を省く。

ハードウェア構成は表1に示すとおり、標準的なハードウェア環境で簡単に実行できることを目的とした。

表1 設計システム動作環境

ハードウェア	パーソナルコンピュータ (Pentium 100MHz 以上)
OS	Windows NT 4.0/3.51
メモリ	32MB 以上 (推奨 48MB 以上)
ディスプレイ	17 インチ以上 (1024x768 以上の解像度が必要)
ハードディスク	20MB~200MB 程度の作業領域が必要
プリンタ、プロッタ	ページプリンタ、静電プロッタ

2. モデル化

3次元情報を扱うには大別して、①3面図から3次元モデルを起こす、②基本図形(プリミティブ)からモデルを組み立てる、という方法がある。建築では平面の間取図を基準にして壁や屋根のデータを与えることで3次元のパースを作成できる。また、工業製品では基本図形から3次元モデルを組み立てて、設計から製造まで一貫したモデルとして使用できる。しかし、図1に示すような橋梁上部構造では以下のような理由から、いわゆる汎用3次元CADとは別の独自のモデル化が必要となる。

- 平面は通常ねじれた曲面であり、間取図に相当する基準となるフラットな平面は存在しない。
- 投影面だけでなく、特定の曲面で展開した側面図や折れ線で展開した横断面図が必要である。

同時に、モデル化に基づく幾何情報は図2から理解できるように鋼橋設計プロセス全体に強く関与する重要な情報であり必要な精度と柔軟な応用を要求される。したがって、線形要素(平面、縦横断)に基づいた線形計算とは別に、データを他のデータから生成できない一次情報とそれから派生できる二次情報に分別し、X、Y、Z座標と距離や接線角など、橋梁形状の認識に必要な最小限の一次情報のみをファイルに持たせ、DB化されたモデルではなく強力なアルゴリズムにより形状を把握する形式とした。

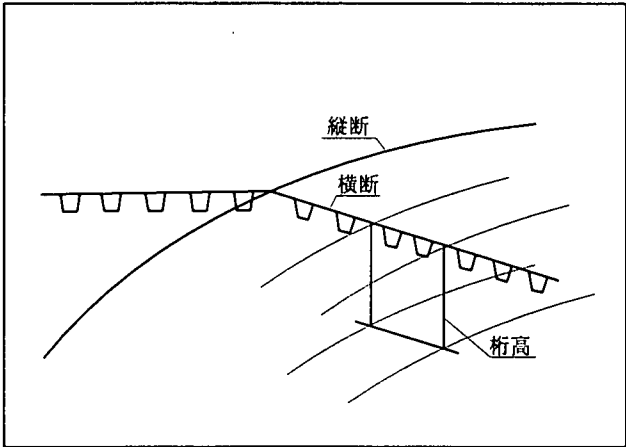


図1 縦断、横断、桁高の関係

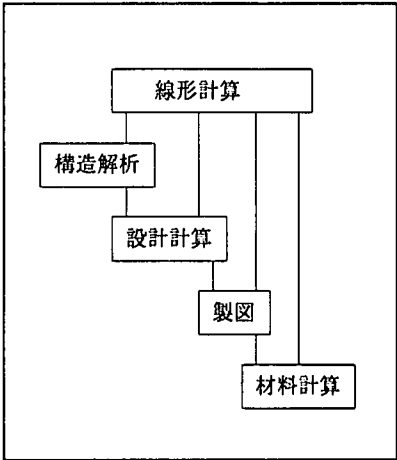


図2 鋼橋設計プログラムと情報流通

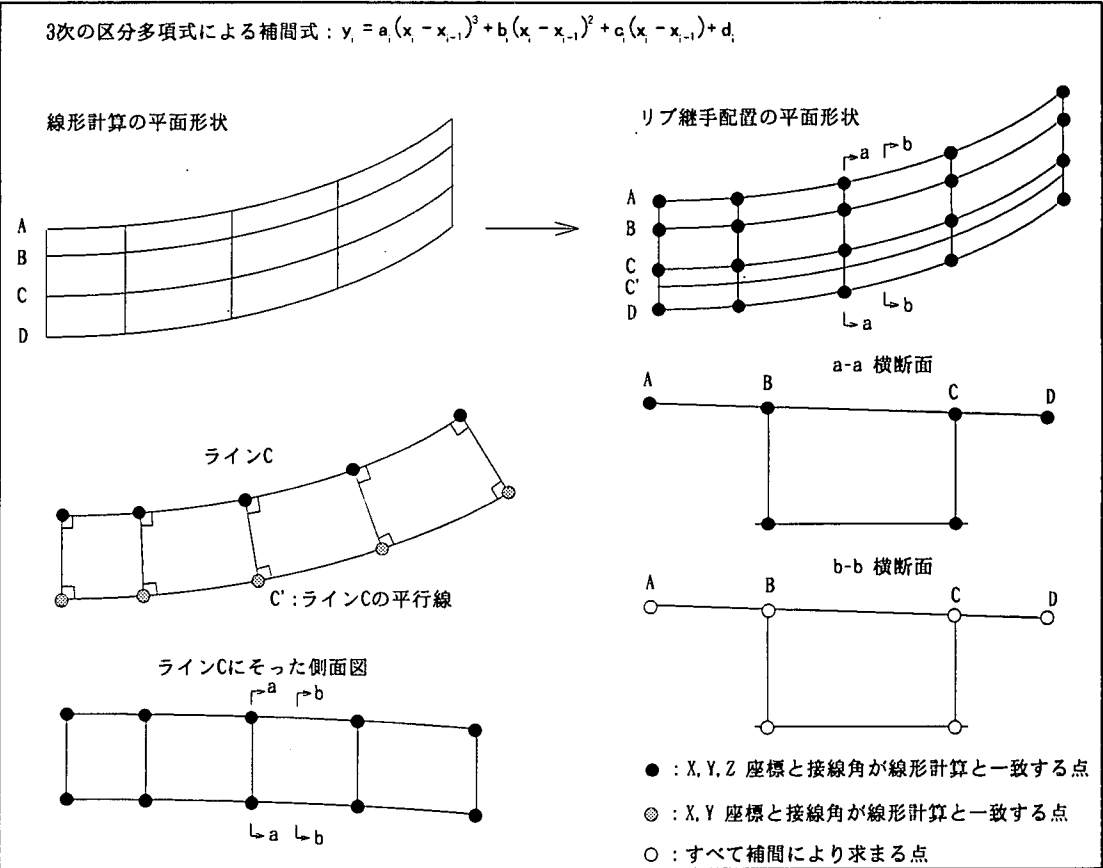


図3 スムージング曲線による形状表示

3. 幾何計算ライブラリとグラフィックライブラリ

上記の限られた基本データから橋梁幾何情報を作成するためには、3次元の情報を自在に取り扱う汎用的な幾何ライブラリが必要である。これには、図3に示すように、線形計算では線形要素を取り扱い、以降の計算では、別途すべて3次のスムージング曲線で対処する。

また、幾何計算の結果は数値だけでなく、平面図、側面図、断面図などで確認できなければならない。パーソナルコンピュータには、アニメーションやプレゼンテーション用としてOpenGLなどのグラフィックライブラリがあるが、鋼橋の図形情報の表現としては2次元の線画のほうが都合がよい。そこで、WindowsのAPIを使用したGKSに準拠するグラフィックライブラリを独自に作成した。

3. 1 幾何計算ライブラリ

幾何計算ライブラリは図4に示す構成である。テキスト形式の幾何情報ファイルから、幾何ライブラリ内部

で使用する中間形式に変換し、純数学的な幾何計算ライブラリと鋼橋上部工の設計を対象にした専用幾何ライブラリを介してアプリケーションプログラムで使用する。

3. 2 グラフィックライブラリ

本システムでは、計算結果を線種（色、線幅、ピッチ）で区別された形状図としてディスプレイやプロッタに迅速に出力し、拡大などの操作で細部の確認が容易にできることが重要であり、物体の光沢や質感などの画像としての芸術性は不要である。

Windows には、図形表示を目的とする汎用的なグラフィックライブラリはなく、通常の Windows プログラムでは複雑なグラフィック API を直接使用することが多い。これらは作成に労力を要する上に汎用性と柔軟性に欠ける。一方、GKS システムは、世界座標、装置座標、正規化座標の明確な概念と、様々の出力装置への対応が容易なことに特徴があり、作成した図形に、セグメントと呼ばれる一群の単位で移動、拡大、消去などの操作を加えることができる。したがって、GKS は本システムのグラフィック表示に適しているといえる。

GKS システムは図 5 に示す構成である。GKS 本体は Windows に依存していないため、Windows 以外のプラットフォームや個別の出力装置への汎用的な出力が可能になる。

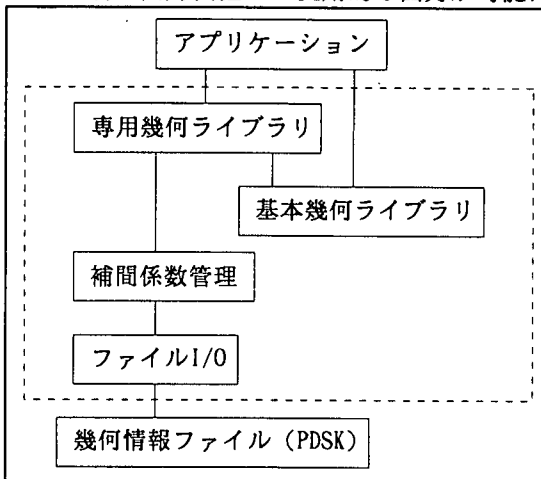


図4 幾何計算ライブラリの構成

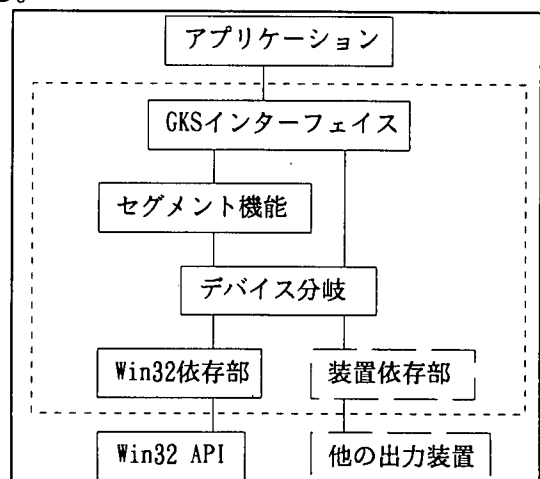


図5 グラフィックライブラリの構成

4. 鋼床版のリブ、継手配置と桁高計算

鋼床版橋の設計では、縦リブ横リブの配置や縦横の継手位置の決定が必要不可欠である。また、各種の変化に対処できる桁高計算も重要である。これらは従来は線形計算を利用したり、大縮尺の平面図から手作業で行っていたものである。本システムでは、テキストデータを作成してバッチ処理でも、グラフィックディスプレイを見ながら対話形式でも実行できる。図6から図9にその作業手順を示す。

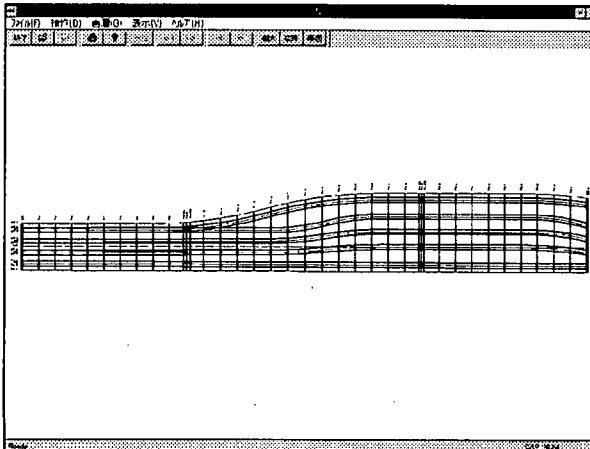


図6 線形計算から基本線を連動した平面図

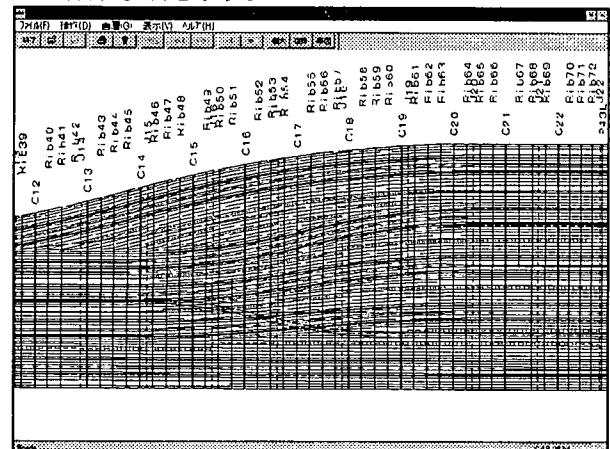


図7 リブ・継手線を配置後の平面図

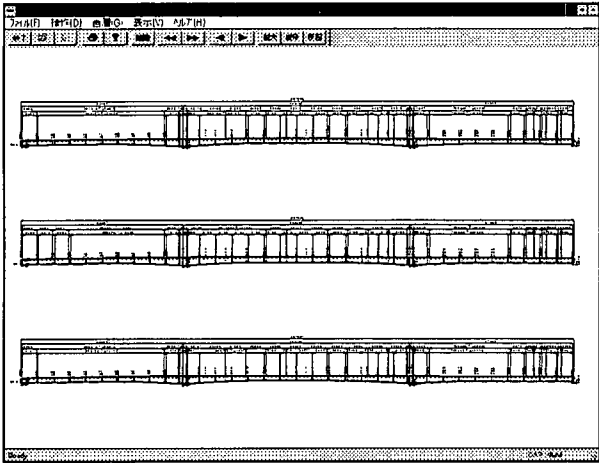


図 8 桁高計算を実行後の主桁側面図

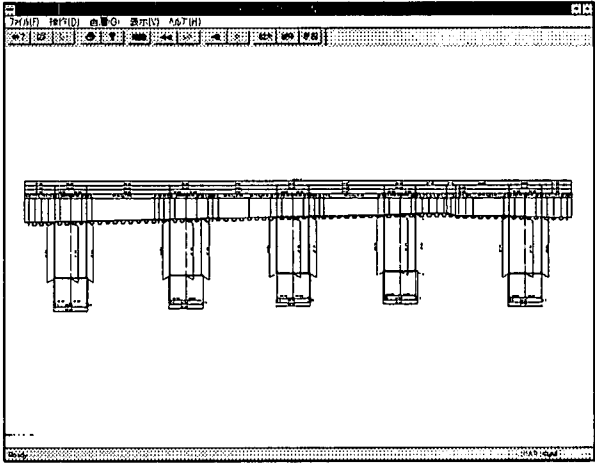


図 9 桁高計算を実行後の横断面図

5. 設計・製図での利用と CAD への連動

線形計算、桁高計算、リブ、継手配置の情報は、設計計算や図面作成に反映されてこそ威力を発揮する。そこで、設計計算と図面作成にこの幾何情報を有効活用する自動設計・製図システムを開発した。幾何情報作成の手間が省け形状認識が容易になり生産性は大幅に向上する。設計プログラムでは、各種の形状図を作成して設計者が迅速に形状を把握できるようにしている。この図面は DXF ファイルを介して、図 10 のようにレイヤーやグループ情報を考慮して CAD や設計計算書に取り込んで利用することが可能である（図 11 参照）。

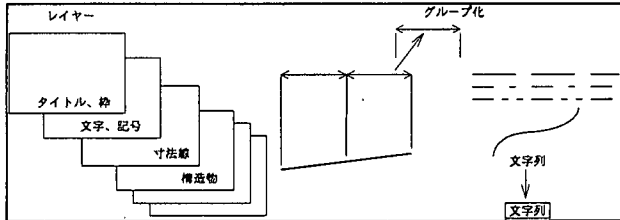


図 10 レイヤーの分離とグループ化

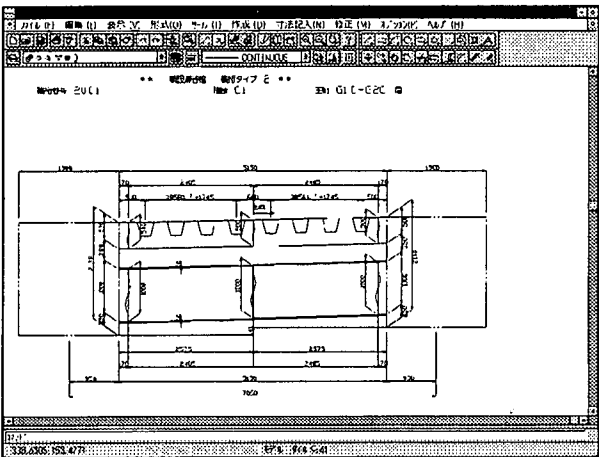


図 11 横桁形状図

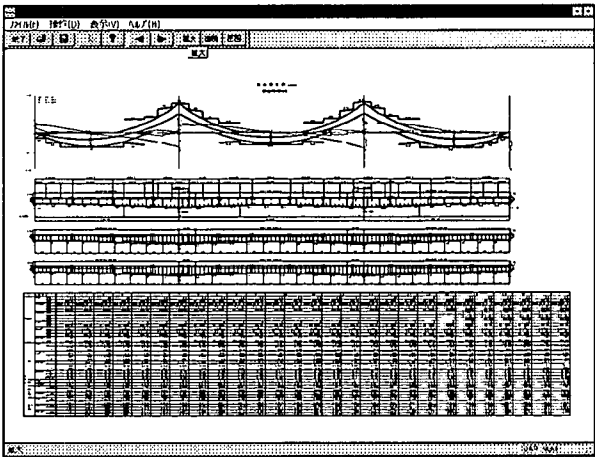


図 12 主桁断面構成図

6. おわりに

鋼床版桁は土木構造物でも最も複雑な部類に属する。本システムの使用により、標準的な 3 径間連続 2 主桁の鋼床版橋の設計で工期が 1/2 ほどに短縮された。特に、橋梁設計で最も重要といえる図 12 に示す主桁断面構成図が、数日で作成できるようになった。これは今まで、単断面計算ツールを使用して幾何形状や断面力を入力しながら一断面ずつ計算し、結果を集計して数週間かけて作成していたものである。さらに、データを一部変更するだけですべて自動的に再処理されるので、設計の変更や追加での効果も大きい。

このように、現在、線形から数量まで幾何情報を最大限に取り込んだシステムとなっている。今後は GUI による入力の強化と、原寸展開などの製作現場にもこれらの設計・製図情報を伝達していきたいと考えている。