

3次元CAD/CAMによる橋梁生産情報システム ～橋梁生産における製品情報管理の取り組み～

Steel Bridge Fabrication Information System on 3D CAD/CAM

松原 哲朗

Tetsuro MATSUBARA

川田工業㈱総務部KAINSプロジェクト
課長

多田 賢

Satoshi TADA

川田工業㈱生産事業部四国工場橋梁部
橋梁技術課課長

香川 公昭

Masaaki KAGAWA

川田工業㈱生産事業部四国工場橋梁部
橋梁設計課係長

吉村 雅春

Masaharu YOSHIMURA

川田工業㈱生産事業部四国工場橋梁部
橋梁設計課

工藤 裕

Yutaka KUDO

川田工業㈱生産事業部四国工場
システム開発課

The steel bridge manufacturing industry is marked by fierce competition. Structural improvements of the company operation based on hands-on experience and technology and the successful reduction of manufacturing costs are therefore key issues for the industry. Kawada Industries, Inc. developed Fabrication Information Systems for Steel Bridges (FISYS) as an integral part of its current efforts to review all steel bridge fabrication system. The FISYS integrates the three-dimensional CAD/CAM capabilities achieved with surface-solid processing with the network and database functions. This integration permits unified fabrication information management while offering the flexibility to accommodate the fabrication of bridge girders of the most diverse shapes.

This report gives an outline description of the system with examples of its application on actual bridges and discusses the issues that need to be addressed in the future.

Key words: surface-solid processing, modeling, attribute information, fabrication information management

1. まえがき

最近の鋼橋製造業界を取り巻く環境は、複雑化する橋梁形状への対応といった技術的問題に加えて、PC業界との競争、一般競争入札制度や海外開放による国際入札制度の導入など、厳しい競争時代を迎えている。このような難局を乗り越えるには、さらなる技術蓄積に合わせて、製造コストの削減による企業体質の改善を図ることが急務となっている。

このような状況下、鋼橋製造全般にわたってのシステム見直しの一環として、写真1のようなサーフェス・ソリッド処理による3次元CAD/CAMの概念とネットワークおよびデータベースの機能を統合し、生産情報の一元化による管理体制のもとで、さまざまな橋梁形状に対応可能なシステムに再構築するための開発を進めてきた。

本文では、開発が完了し、運用段階に入ったこの新しい3次元CAD/CAMによる橋梁生産情報システム「FISYS」の概要と運用について報告する。

2. 3次元CADの取り組み

従来の標準的な橋梁を対象に開発されたNC (Numerical Control: 数値制御) 原寸システム (製作座標処理「FABRIC」と各種工作図生成システムよりなる) は2次元形状の組み合わせをもとに考えられているため、複雑

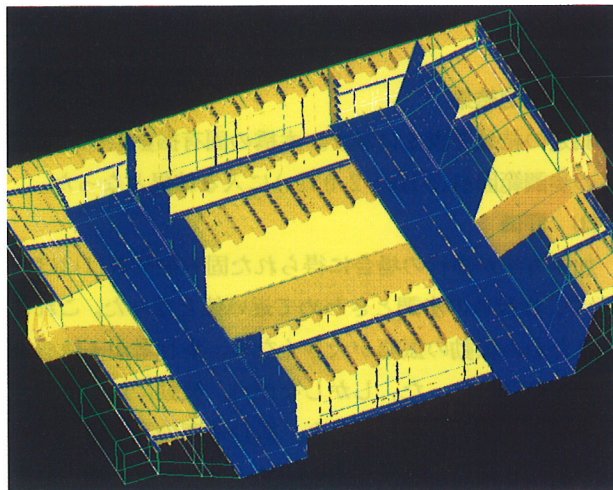


写真1 サーフェス・ソリッドによる橋梁モデリング例

な構造や特殊な形状を有する橋梁形状について適用外となる例が年々増加してきており、この問題を解決するために3次元CADによる製作情報処理の取り組みを始めた。まず、平成3年に導入した3次元CAD「CADKEY」のもと骨組ならびに部品をすべてワイヤ (線) フレームで表現することを基本とした補完的なシステムを構築した。このシステムは図1に示すように既存のNC原寸システムと連動しながら、これまでの線形計算や製作座標計算プログラムで処理できない骨組形状処理ならびに既存のNC原寸システムの適用外の部品形状の生成と展開

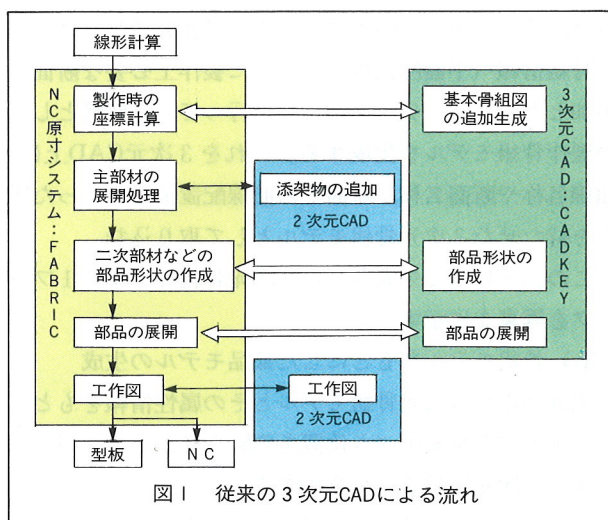


図1 従来の3次元CADによる流れ

処理をワイヤフレームにて行い、2次元CADにより製作情報（工作図、NCデータなど）を作成する。このシステムのもと、ワイヤフレームによる橋梁モデリングを実施した例として「明石大橋：主塔」（写真2）がある。以来、現在まで数多くの橋梁を手がけてきたが、部材情報処理の基本そのものはあくまで従来の原寸の域を脱していない。これは、形状をすべてワイヤにて表現しているため部品認識や干渉チェックといった3次元特有の立体処理については作業者の経験と勘に頼っているからであり、技術的にみて十分なものとは言い難い。また、生産情報管理の面からみても、部材情報の一元管理や材料情報との連動等の必要な機能を有しているとはいえない状態である。

そこで、新たに3次元のサーフェス（面）・ソリッド（立体）をベースにした3次元モデリングという概念を取り込んだシステムを実現するために、平成5年より導入された3次元CAD「CADCEUS」をもとにして「FISYS」開発を開始した。「FISYS」は、橋梁部材を3次元上にサーフェス・ソリッドにてCG（Computer Graphics）的に

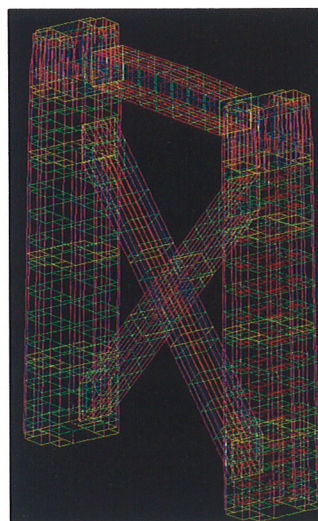


写真2 ワイヤフレームによる橋梁モデリング例

表現し、部品認識や干渉チェックを容易に行える専用システムとして利用できるほか、ネットワークやデータベース機能を利用した情報システムとして活用することができる。

3. システムの概要

(1) システムの目的

本システムでは、さまざまな橋梁形状に対応するとともに、従来、作業者の経験と勘を頼りに行われていた部材形状のモデル化作業を標準化し、3次元モデリングによる一貫した部品生成を行うことで効率化を目指した。また、将来におけるCAD（設計）とCAM（工場）を連結する体系を構築することを目的としており、そのために設定された目標について以下に示す。

a) 部品形状の目視確認と部品間の不整合の排除

部材をサーフェス・ソリッドで表現した立体的な板そのものとして扱えるようにすることで、部品モデルを簡単に生成でき、かつ、それを目視にて容易に確認できるものとする。

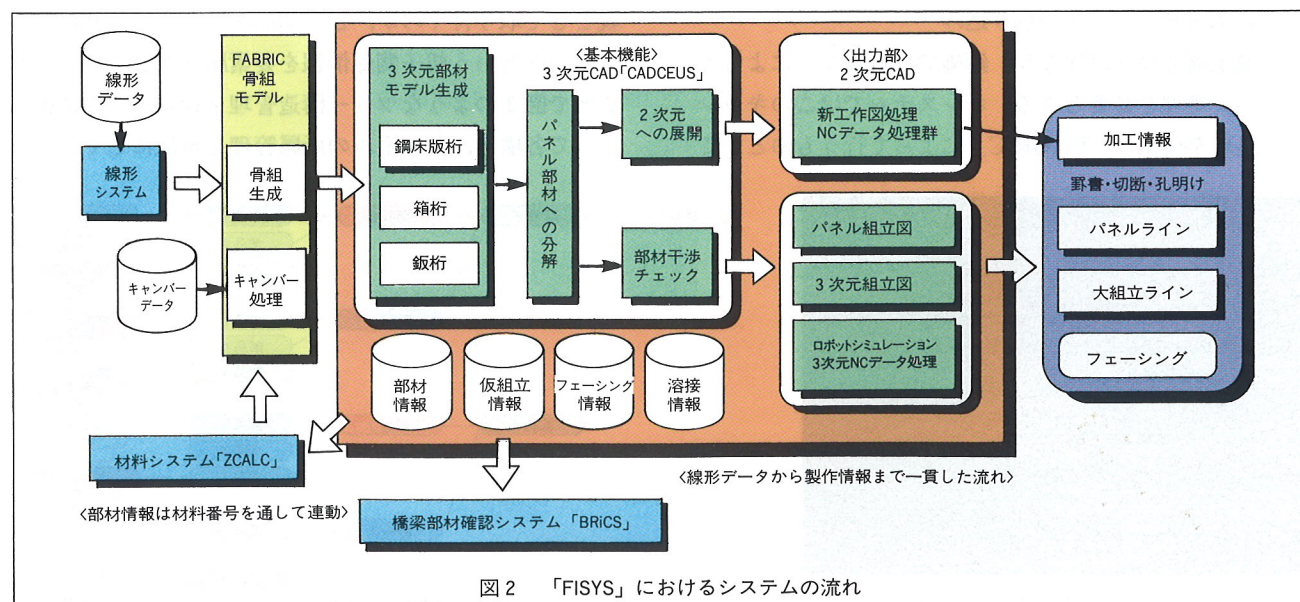


図2 「FISYS」におけるシステムの流れ

そして、骨組モデルからあたかもプラモデルを組むように一貫して3次元上に部材モデリングを行っていくことで部品間の不整合を排除し、従来の部品間チェックにかかる手間を大幅に低減し、製作に関する問題点を早期に発見する。

b) 作業指示情報の簡素化と一元管理

生成された部材モデリングを製作手順に沿って各構造(主桁、鋼床版、横桁、主塔など)、各パネル(デッキ、フランジ、ウェブ、ダイアフラムなど)、そして各部品に分解してゆき、それぞれの製作作業においてなすべき作業が一目でわかるような簡素化された作業指示情報を作成する。また、現在稼働しているNC機器はもちろん、将来導入されてくる新たなNC機器の動作を本システム上でCG的に表現して、最適な動作を行えるための指示情報を作成する。

あわせて、作業指示情報をすべて電子データ化してデータベースによる管理を実現し、材料番号・材質などの部品情報を部品モデルの要素属性データとして管理し、材料システムとダイナミックに連動させることで、製作情報全体の一元化を図る。

c) 複雑化した形状への対応

アーチ、鋼製脚、斜張橋といったさまざまな形式はもちろん、ICのように複雑に入り組んでいる形状など、従来システムでは適用外となるような構造の処理に対しても、技術的な標準化を図りつつ、適応力向上を目指す。

(2) システムの流れ

本システムは、図2に示す順序にて作業が流れており、橋梁部材の3次元モデリングについては次に示す専用メニューに沿った形で作業が進められていく。

実際の橋梁部材の3次元モデリングの流れについて、Y橋(3径間連続斜張橋:適用対象は鋼床版箱桁部)への適用例をもとに以下に説明する。

a) 基本骨組モデルの取り込み

一般鋼構造物とは異なり、鋼橋では自重などによるキャンバー処理を必要とする。本システムではこのキャンバー処理を従来の「FABRIC」によって行うものとして

おり、線形システム「FIXY」によって作成された完成系の骨組情報(平面座標群)をもとに製作上必要な断面の追加とキャンバーデータの付加を行って立体座標としての製作骨組モデルを生成する。これを3次元CAD上に、曲線名称や断面名称、断面での曲線配置情報といった属性を持たせた3次元骨組モデルとして取り込む。

このようにして生成された3次元骨組モデルの1ブロックを写真3に示す。

b) 骨組モデルをもとにした部品モデルの生成

取り込んだ3次元骨組モデルとその属性情報をもとにシステムにて生成すべき位置を判断させながら、以下のように3次元部品モデルを生成する。

① デッキ、フランジ部品モデルの生成

骨組モデルから部品の境界線となる骨組曲線を指示して、この曲線に挟まれる面を用いてデッキ、フランジの部品モデルを生成する。

② ウェブ部品モデルの生成

①と同様に骨組モデルから部品の境界線となる骨組曲線を指示し、上下に挟んでくるデッキ・フランジの部品の板厚による食い込み分を考慮した形の面を用いてウェブの部品モデルを生成する。

③ ダイアフラム、横リブ、横桁、ブラケット部品モデルの生成

①と同様に骨組モデルから部品の境界線となる骨組曲線を指示し、周りを挟んでくるデッキ・フランジ・ウェブの部品の板厚による食い込み分を考慮した形の面を用いてダイアフラム、横リブ、横桁、ブラケットの部品モデルを生成する。

④ 縦リブ、補剛材部品モデルの生成

①~③で生成された部品の表面に取り付く子部品として補剛材、縦リブなどの部品モデルを生成する。

このようにして生成された部品モデルに、どの部品を親として取り付くのか、どの部品が子として取り付けてくるのかという親子関係情報を要素属性として持たせることで図3のようなツリー構造管理を行い、この情報によって各構造、各パネルの所属管理を可能にしている。

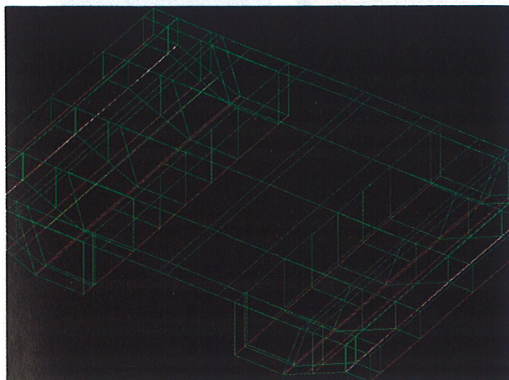


写真3 骨組モデルの取り込み

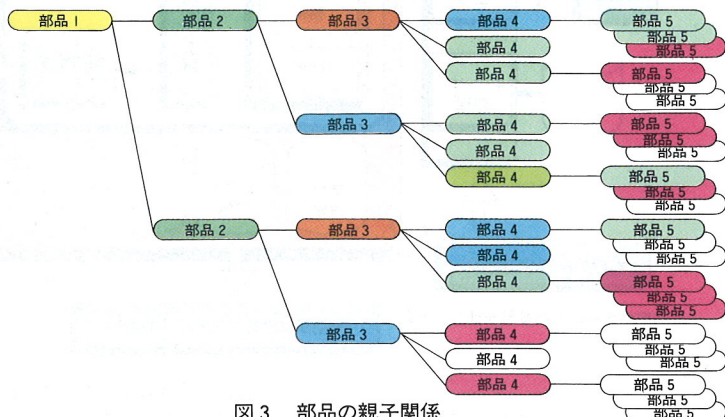


図3 部品の親子関係

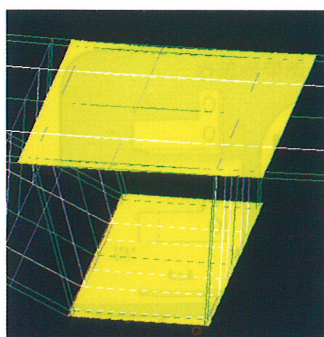


写真4
部材生成(その1)

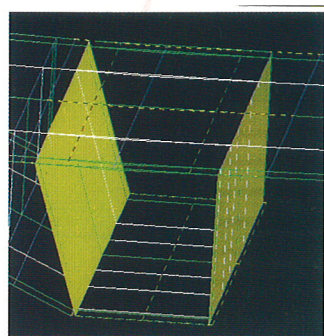


写真5 部材生成(その2)

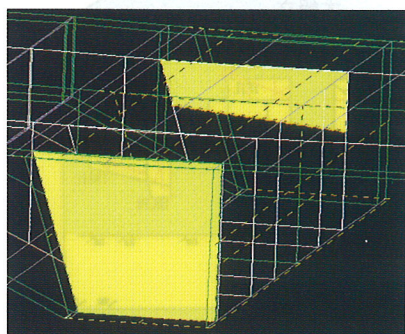


写真6
部材生成(その3)

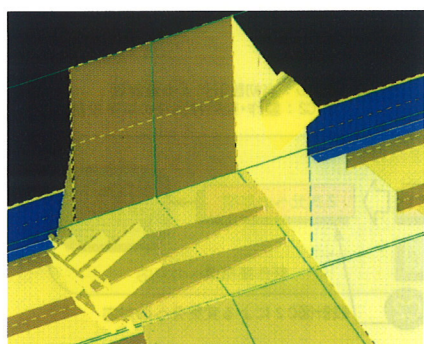


写真7
部材生成(その4)

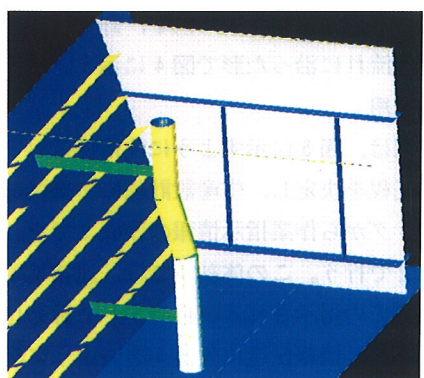


写真8 添架物取り付けによる部材干渉チェック

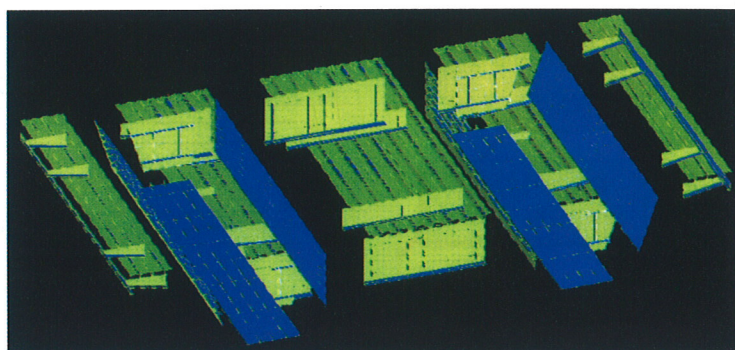


写真9 パネルへの分割

また、部品モデルに与えられている他の要素属性として、縦リブ貫通によるスカラップやコーナー形状といった外形情報、材料番号や材質といった固有な部品情報、そして部品溶接情報が与えられる。

そして、サーフェス・ソリッド処理機能を十分に利用することで、ケーブル定着部や添架物（排水装置関連、補強板、地覆など）のように部品が複雑に入り組んでいるような部分のモデリングを行い、製作上必要となる部品や孔群の合わせ位置の付加も行う。

このような3次元部品モデルの生成、添架物の取り付けによる部品干渉チェックの例を写真4～8に示す。

c) 生成した部品モデルのパネル単位への分割

まず、3次元上に生成された部品モデルを親子関係属性情報を利用してパネル単位に分割し、第一親部品をもとに2次元へと展開してパネルモデルにする。このとき、展開されたパネルモデルには、取り付く子部品をもとに算出された溶接の収縮量による変形が考慮されており、また、スカラップやコーナー形状などの外形情報をもとにした外形処理も行われている。あわせて、取り付く子部品や合わせ位置などの罫書線、中抜き外形線、材料番号や材質などの属性情報も付加され、罫書・切断・孔明けといった加工作業を意識した形になっている。なお、パネル単位に分割された部材モデル状況について写真9に示す。

d) 作業指示情報への変換

そして、3次元上に生成された橋梁部材モデルならびに2次元に展開されたパネルモデルを、以下に示すようにそれぞれの製作作業に必要な作業指示情報（工作図、NCデータなど）へ変換していく。

① 罫書・切断作業に対する作業指示情報

2次元展開されたパネルモデルから、そのパネルの外形情報や子部品、合わせ位置のような罫書線情報をNCデータの様式へと変換する。

② 孔明け作業に対する作業指示情報

2次元展開されたパネルモデルに罫書かれた孔群合わせ位置をもとに、2次元CADで作成された孔群データを貼り付け、これをNCデータへと変換する。

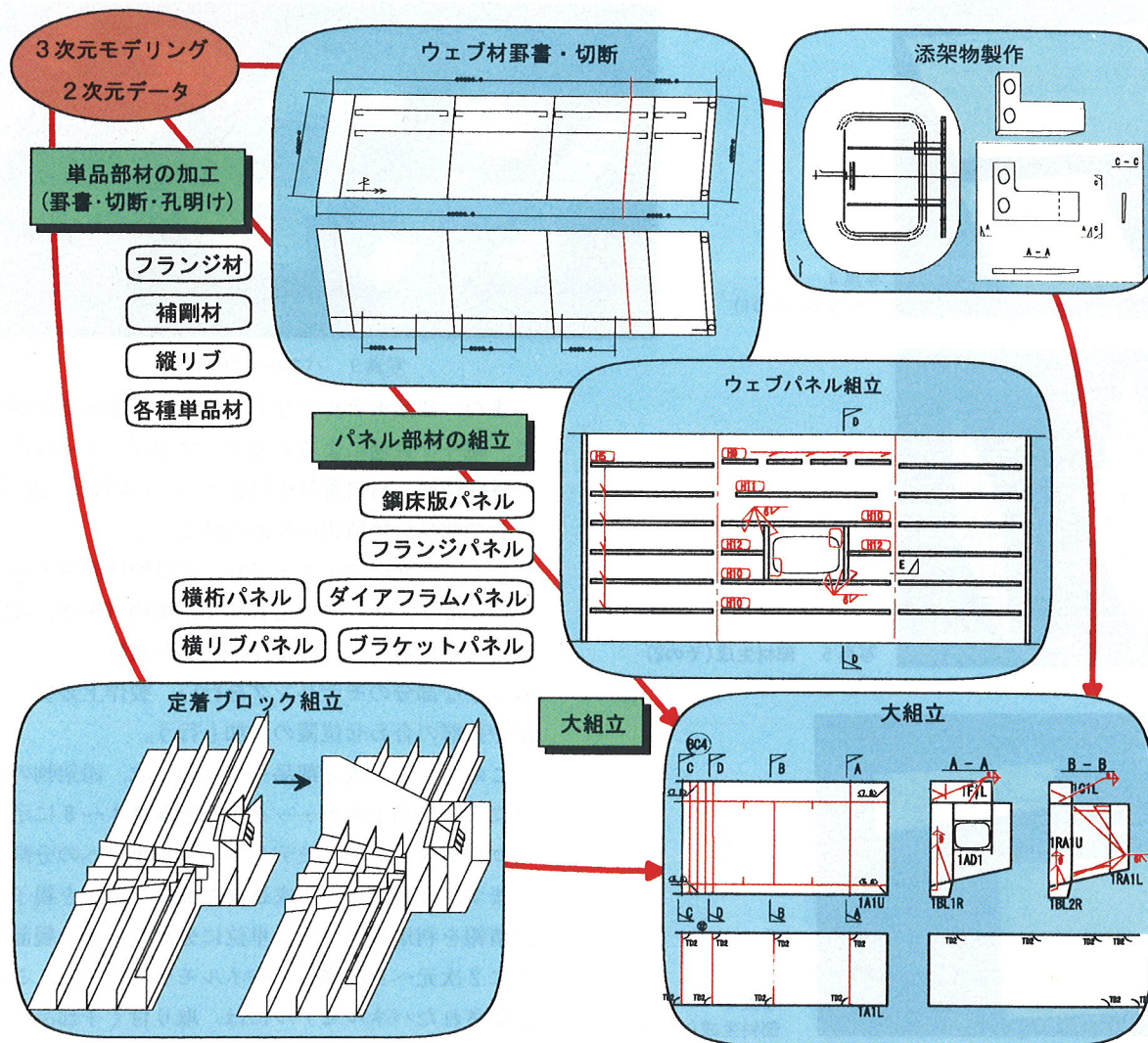


図4 作業指示情報の流れ

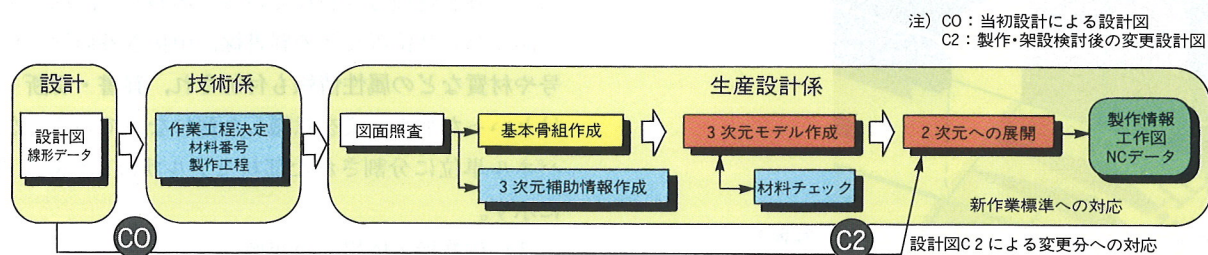


図5 システムの運用体制

③ パネル組立作業に対する作業指示情報

3次元橋梁部材モデルからパネルブロックを抜き出して正面、側面、断面へと投影し、これに部品モデルの要素属性から部品を取り付けるために必要とする溶接記号や取付角度を付加して、組立三面図を作成する。

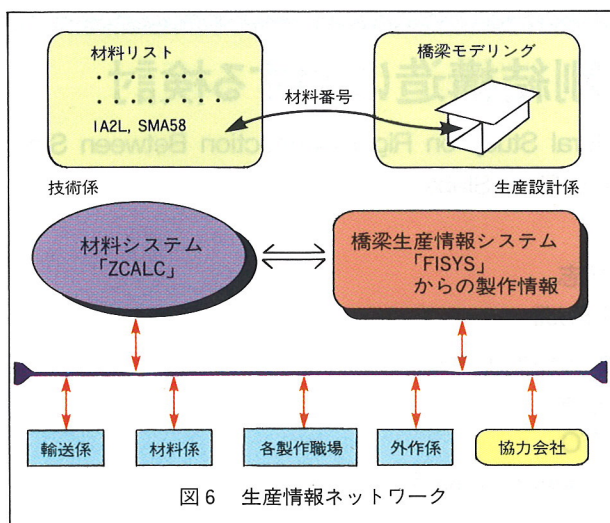
④ 構造組立（大組立）作業に対する作業指示情報

パネル組立作業用と同じように3次元橋梁部材モデルから構造ブロックを抜き出して各面に投影して溶接情報・角度情報を付加した組立三面図と、プラモデルの組立説明書のように3次元橋梁部材モデルから構成される部品の取り付け順序を示したCG的な組立手順図を作成

する。このような作業指示情報作成の例を、野書作業から大組立作業までの流れに沿った形で図4に示す。

(3) システムの運用

本システムの運用は、図5に示すように技術係において材料処理と作業工程を決定し、生産設計係にて橋梁部材の3次元モデリングから作業指示情報の作成までを、一貫した体制のもとで行う。この体制下では、連絡事項をはじめとするすべての指示される項目はすべて番号化されて管理されており、情報伝達に欠落がないように配慮されている。



(4) 材料システムとの連動

本システムにおける材料処理については、現在稼働している材料システム「ZCALC」（DBと市販ソフト）との間を材料番号を通してダイナミックに連動するようになっている。すなわち、部材モデル形状の変更が材料番号を通して材料システムに反映され、また、材料システムでの変更が同様に部材モデルへも反映される形となっている。

材料情報の取り出しは、市販ソフトを利用した材料検索処理にて各製作情報に対して必要とされる帳票形式にて行われ、すでに整備されているネットワーク機能を用いることで各部署にて必要な材料情報を自由に取り出すことが可能となっている。また、今後鋼材メーカーや部材製作メーカーなどの協力会社とのネットワーク化により各種伝票や納期のオンタイム化を図ることで、グローバルな情報管理を目指すことも可能となる。このような情報ネットワークの概念を図6にて示す。

4. システムの課題

本システムによる運用は始まったばかりであり、今後以下の課題に対するシステムの整備が必要である。

(1) 生産情報管理の一元化への取り組み

これからの生産情報管理は、製品にかかわる情報が随時付加され変更されていく点に対応すべきである。そこで、第一に個別に存在する製品にかかわるさまざまな情報をその所在情報を通して関連付けして仮想的に一元管理する「オブジェクト指向的な情報管理」と、第二に情報を構成する部品の種類と数やその親子関係をツリー構造の情報にて管理する「部品構成による情報管理」の2つの情報管理手法を取り入れる必要がある。

本システムでは、このような課題に対して情報を標準化することで共有化を目指す手法を取り入れ、目的の環境を実現していく。

このような環境が実現することで、3次元CADや市販

ソフトのネットワーク機能を利用して端末画面での作業確認（作業指示の検索と作業内容表示…例えば部材組立手順の3次元表示など）と作業報告（作業終了報告ならびにチェック項目報告）を行うことも可能となる。同時に、各製作作業の出来高の把握が容易にできることで工程管理のダイナミズム化へとつなげていくことができる。

(2) 機能の拡張

現状の適用範囲は鋼床版箱桁を中心に考えられており、今後塔形状・アーチ形状などへの対応や、従来から仮組立省略を目標に開発が進められてきた「橋梁部材確認システム（BRiCS）」との部材情報の共有化を図っていく。

また、四国工場において進められている橋梁製作のパネルライン化に対応して、現在部品モデルの要素属性として定義されている溶接情報を積極的に利用することで橋梁部材モデリングから直接開先加工指示情報やNC機器動作情報を作成することを可能にしていく必要がある。

(3) 技術の向上

現在ハードウェアならびにソフトウェア能力の制限によって、骨組モデルに部品モデルを生成する機能、いわゆる貼り付けていく機能しか有していないが、今後予想されるハードウェアや3次元CADの進化（CPU性能の大幅な向上、CADにおける実物体再現機能の強化など）によって、生成された部品モデルの3次元変形（完成形状モデルへのキャンパー付加による全体変形、溶接による部材変形）が可能となると思われ、これによって線形情報から橋梁部材モデリングを実施して設計から製作までの情報を一元的に管理できるようになると予想される。

5. あとがき

現在、橋梁業界は大きな壁を乗り越える時期を迎えている。まず、早く、安く、高機能な製品を作らなくてはならない。これに加えて、品質システムを問うISO 9000シリーズ、環境対応を問うISO 14000シリーズ、PL（製造物責任）法、さらに情報管理の標準規格化への対応も要求され、乗り越えなければならない壁は増える一方である。それゆえ、本文にて紹介した新しい橋梁生産情報システム「FISYS」を構築することで、こうした課題に対応し、より効率的な生産体制作りを目指している。

今後は、適用範囲の拡張を図りつつ、生産情報管理の一元化と標準化の機能を十分に備えたものとし、これからの競争時代に対応しうる鋼橋生産体制にしていく予定である。

最後に、本システムの構築に際し、ご協力いただいた関係各位に対し、心からお礼を申し上げる次第である。