

設計/製作情報をシームレスに

～橋梁用3次元システムCadenza（カデンツァ）～

Introduction of 3-Dimensional CAD system "Cadenza"

渡辺 淳

Hiroshi WATANABE

川田工業株橋梁事業部
技術統括部長

越後 滋

Shigeru ECHIGO

川田工業株技術開発本部長

松原 哲朗

Tetsuro MATSUBARA

川田工業株橋梁事業部技術部
CAD開発プロジェクト課長

本摩 敦

Atsushi HOMMA

川田工業株橋梁事業部技術部
CAD開発プロジェクト

電子データや文書による情報を効率的に管理・運用するCALSやISOに積極的に対応しようとする気運が、ここ2,3年の間で急速に高まってきています。その動きに呼応するように、面や立体を扱える本格的な3次元CADを導入する動きが製造業において活発になっていきます。

当社においても、平成4年より四国工場にて3次元CADを用いた橋梁製作システムの構築を行っており、一般的な構造であれば実製作の適用に支障がないレベルにまで開発が進んでいます。さらに当社では設計段階から3次元モデルを創成できるシステム（*Cadenza*）の開発を進めていますが、今回その実用にめどがたったので、その概要を紹介します。

なぜ今3次元CADが必要とされるのか

3次元CADが製造業界で注目を浴びていますが、はたして、その注目される理由は何か？ 従来の2次元図面に対するその優位点・特長はいかなるものか？ ここで、CALSへの対応、工場製作という2つの視点から3次元CADを検証してみましょう。

CALSの面からみた3次元CAD

CALSは、一説には米国国防総省において、膨大な量の兵器のマニュアル類を効率的に管理することを目的に始まったとされています。当初は軍事関連用語のComputer Aided Logistic Supportの略語であったCALSですが、その後ネーミングは変遷を続けて、現在ではCommerce At Light Speed（1994）となっています。

その主な目標は、事業の計画・設計・発注・施工・管理から維持に至るまで、ライフサイクル全般にわたって電子データ化された情報を共有・活用し、品質の向上、コスト縮減、リードタイムの短縮などを図ることです。

アメリカから始まったCALS構想ではありますが、日

本にもその波は押し寄せており、公共事業の分野においては、建設省を中心として2004年をめどにCALS導入の100%実現を進めている段階です。

情報化という観点から見た公共事業の特徴は以下のとおりで、CALS導入の効果が高いと期待できそうです。

- ・発注者、設計者、施工者、資材供給者等関係者が多く、この間に頻繁に情報交換が行われる。
- ・交換される情報は、文書のみならず図面や写真・計算書等多様で量が多い。
- ・施設のライフサイクルが長く、長期間にわたる維持・管理が必要である。したがって、これらを支える情報の役割は大きい。

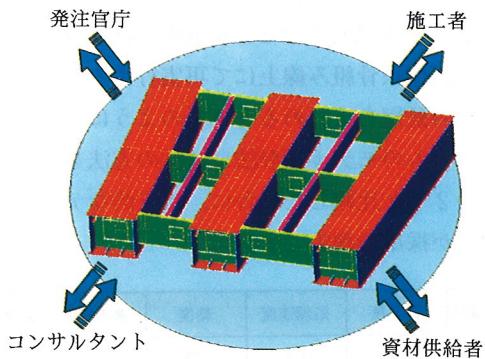
これらを踏まえた3次元CADのメリットには、次のことがらが挙げられます。

- ・一元化されたデータを3次元空間に配置できるため、事業にかかる複数の業者がデータを共有し、職種に応じた異なる手法での活用が可能。
- ・単なる図形情報のみならず、部材属性（後述）をも含めたデータの電子化が可能。
- ・同じ部材が複数の図面に記載されなくなるため、発注者、請負業者ともにこれまでの紙の洪水から解放される。

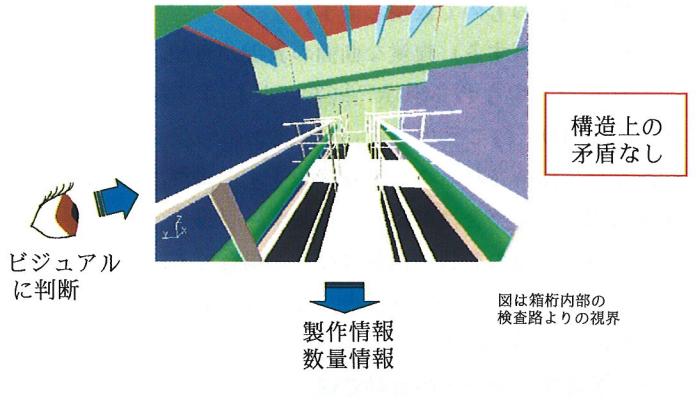
製作面からみた3次元CAD

パソコンが低価格化したことや、CADソフトの廉価版が普及したことなどで設計図面の多くがCADで作図されるようになりました。CADを利用するメリットには「共通部品の利用」や「変更時の修正の容易さ」などが挙げられます。しかし、設計段階でのCADはあくまで「図面は成果品のひとつ」という考え方のもとに作成されています。

CAD化によって「情報の電子媒体化」を実現できたとしても、製造部門から見れば「板厚は誇張されている」



3Dモデルを使用したCALSのイメージ



3Dモデルを使用した製作のイメージ

「寸法の異なる部材は表形式で書かれている」「斜めに配置された部材は平面上への投影長で描かれる」など、そのまま「使える情報」ではなく、やはり一品一品工作図、原寸図を作る必要があります。また「3次元的な構造の取合いのチェックが難しい」「1カ所の変更に対して複数の図面に修正が必要」というミスのもとになりかねない問題もあります。

これに対し3次元CADでは以下のことがらがメリットとして挙げられます。

- ① すべての部材が実長で表現されるため、設計で作成したデータをそのまま工場で利用でき、作図・原寸作業の省力化が可能である。
- ② ビジュアルに構造を捉えられるため、構造・付属物の迅速な決定が可能。また、溶接などの作業空間のチェックも容易。
- ③ 3次元モデルであるため構造上の矛盾が生じず、追加・変更後も整合性が保てる。
- ④ 数量情報は材料の追加・変更後も整合性を保つことができる。

本システムの特長

日本ユニシス製3次元CAD「CADCEUS」を母体とする、本システムの最大の特長は次の2点です。

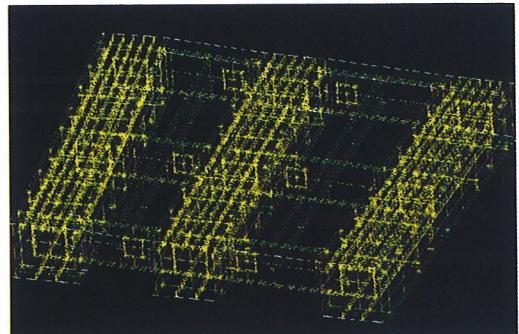
- ・SURFACEによる図形表現
- ・製作キャンバーの自動処理

(1) SURFACEによる図形表現

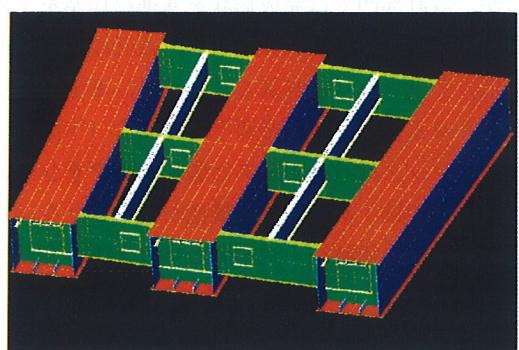
3次元CADシステムにおける図形表現方法には、一般に次の3つの手法が用いられています。

- ① WIREFRAME（立体の輪郭だけを保持）
- ② SURFACE（立体の外皮だけを保持＝中空）
- ③ SOLID（真の立体＝充実）

橋梁メーカーで使用されている3次元CADは、ほとんどすべてがモデルを軸線のみで表現するWIREFRAMEモデルです。しかし、本システムでは「情報の一元管理」を実現するために、部材モデル(1枚の鋼板)



WIREFRAMEモデル



SURFACEモデル

の表現にSURFACE(一部SOLID)を採用しています。

WIREFRAMEとの比較において、SURFACEを採用する利点は以下のとおりです。

- ・部材モデルを単一の要素で表現可能。(長方形の板の表現に周囲の4辺は不要)
- ・部材モデルと部材属性の双方がCAD上で管理可能。(部材属性とは、部材モデルの「材質」「管理番号」などの情報や、「部材定義時に参照した骨組み線」「取り付けられている部材」「取り付いている部材」といった部材の相互関係の情報、そして「スカラップ」「孔」などの加工情報を指します)
- ・CAD上での部材形状と実物の形状が、幾何学的に一致している。(例えば、WIREFRAMEでは球面を三角形の集まりで近似的に表現しますが、SURFACE

では球面そのもので表現します)

- ・(ねじれを有する)複雑な曲面の表現が可能。

これらは、すなわちSURFACEによる図形表現にすれば、「CAD上のモデル形状」と「実物の形状」の整合性が完全に保持されることを意味します。また、同様に属性に関しても整合性が保持されます。

また構造全体の形状が複雑になった場合でも、シェーディング(色付け)や隠線消去などを行うことで、画面から形状を容易に読みとることができます。

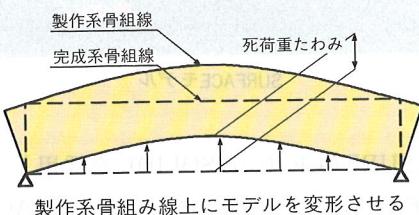
(2) 製作キャンバーの自動処理

これまで3次元モデルは、設計部門から伝達された2次元の図面をもとに、製造部門で改めて創成していました。この重複した作業を減らすために、製造部門は設計段階からの3次元モデルを望んでいました。

製造部門において3次元CADシステムによる大きな成果を得たにもかかわらず、設計段階からの3次元CADシステムの導入を実現できなかった最大の障壁は製作キャンバーの処理にありました。

橋梁は支間部における死荷重分のたわみを、あらかじめ上げ越した形状で製作・架設し、後死荷重が載荷された時点で初めて完成形状となります。つまり完成時と異なる形状で製作が行われるという特殊性があります。ところが、設計部門では完成形状を基準に作業をするため、製作に活用できる3次元モデルを、設計段階から創成するには、キャンバーを付加した形状に、モデルを自動的に変形させるロジックが必要となります(下図)。

このロジックは設計データと製作データをシームレスにするための鍵であり、この機能が実現されない場合には、システムの価値が半減するといえます。



製作系骨組み線上にモデルを変形させる

設計データとしての完成系骨組み線上のモデルを、製作キャンバーを考慮した製作系骨組み線に沿って変形させるには次の3つの方法が考えられます。

① 部材属性を利用する。

各部材の属性を基に、フランジ・ウェブ・桁間部材・縦リブ(骨組み線形状の違いの影響が大きい部材)には幾何学的な変形(再創成)を施す。桁内部材・補剛材(影響が微少な部材)は変形ではなく移動・回転で近似する。

② 幾何学的変形を施す。

着目位置における骨組み線の変化量に応じて、各部材に幾何学的な変形を施す方法。

③ 操作履歴の再実行。

完成系骨組み線上でのモデル創成の操作履歴を記録しておき、製作系骨組み線上にて再実行する方法。

おのおの長短をまとめると下表のようになります。

本システムのモデル変形法には①の方法を採用しました。他の2つと比較した場合に、決定的なデメリットがないことが採用の理由です。

方法\項目	難易度	処理速度	精度	適用範囲	実現可能度
①	△	○	○	○	○
②	×	×	◎	◎	×
③	◎	△	◎	×	◎

モデルの変形は、具体的には以下のように行います。

- ① 製作系骨組み線を基準線として再定義する。
- ② フランジ・ウェブを基準線上で再定義する。
- ③ ダイアフラム・桁内横リブを、基準線・親部材との位置関係を保って移動する
- ④ 補剛材を親部材との位置関係を保って移動する。
- ⑤ 橋桁・桁間横リブ・ブラケットを基準線に沿うように再定義する。
- ⑥ リブを基準線に沿い、かつ親部材との位置関係を保って再定義する。
- ⑦ 詳細形状(スカラップ・孔など)を親部材の移動または再定義に連動して移動する。

今回のシステムには「方法①」の変形法を採用しましたが、今後の技術の進歩いかんでは、理論的に最適な「方法②」が有力になると考えられます。

本システム導入後の設計成果品

本システムの本格的な稼働を仮定すると、電子データ化された3次元モデルを含む設計成果品は、次ページの図のようになると予想されます。このうち、3次元モデルによって次の情報の表現が可能です。

線形情報：路面線形、上・下部構造物基準線

設計情報：断面形状、材質、断面位置、構造詳細

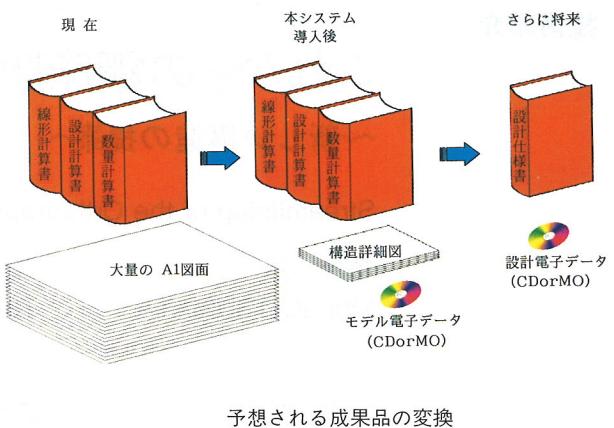
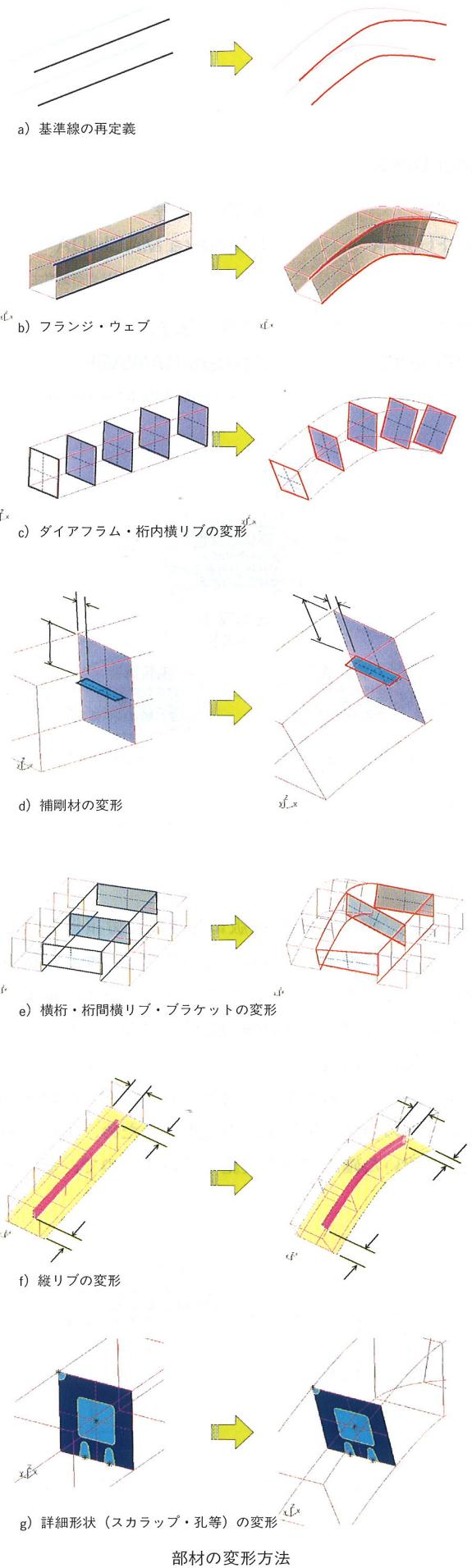
製造情報：部材骨組情報、

付属物情報：付属物形状、付属物基準線、限界線

数量情報：(部材情報にリンク)

これだけの情報が3次元モデルによって表現できると、従来の設計成果品としての2次元図面の多くは淘汰されるかもしれません。しかし、製作情報として2次元図面の方が優れている範囲については、別途詳細図等を作成し添付する必要があります。

現段階では、3次元モデルを「2次元図面に取り代わるもの」と位置付けしていますが、計画から維持・補修に至るまで、当該事業のすべての情報が3次元モデルに



よって表現される日が、遠からず來ると考えられます。

課題

新たに開発するシステムには、本格稼働の以前に解決すべき大きな問題が2つあります。ひとつは設計段階でモデルを組むことから、設計のミスがそのまま製造段階の後半や、極端な場合には現場へと持ち越されるおそれがあることです。したがって、本システムに応じた新しい「品質管理システム」の構築も合わせて開発を進める必要があります。

もうひとつは社会的認知の問題です。社外的・社内的な受け入れ態勢を整える必要がありますが、その際に検討や確認をするべき項目としては、次のことがらが挙げられます。

- ① 各工程段階での必要な設計行為と成果物の整理
- ② 設計としての妥当な品質の整理
- ③ 発注者での妥当な検証行為の整理
- ④ 品質、生産性に対する優位点の抽出
- ⑤ 新しいコンセプトによる基準工程と積算
- ⑥ 新システムによる運用体制・組織

まとめ

新3次元CADシステム機能およびその特徴を簡単に紹介しましたが、経済効果については、現段階において定量的に判断することは困難です。しかし、干渉チェックが容易かつ迅速になるため、作業の手戻りが格段に減少すると考えられること、そして製作部門でのデータ入力工数が削減されることで、設計から製作に至るまでのトータルコストはかなり削減されると期待できます。

今後の目標として、本システムによる成果品を広く一般に認知していただき、早い時期に、実際の物件に適用させていただければと考えています。