

(89) 知識データを用いた3次元PC橋梁設計支援システム

大成建設(株)	土木設計部	北原 剛
同 上	札幌支店	石川 育
同 上	土木設計部	高橋 忠儀
同 上	土木設計部	正会員 ○岡田 浩樹

1. はじめに

我が国においては、他に類の見ない急速な高齢化社会の到来に備え、21世紀初頭までに社会資本の整備を推進すべく600兆円を越す公共投資が見込まれており、それに従い、今後、道路・鉄道などの交通網の整備も盛んに行われることが予想されている。また、1990年前後のバブル経済期から土木業界における人手不足は顕在化しており、公共事業拡大とともに今後の高齢化に伴う労働人口の減少とあいまってこの問題はさらに深刻化してきている。一方、マルチメディアをはじめとする情報技術は、近年劇的な進歩を遂げてきており、21世紀の高度情報化社会を迎えるにあたっての新社会資本整備として情報ネットワークの基盤整備もこれから大規模に始まろうとしている。

一般に、土木分野においては、その生産形態が多品種単品受注生産であるが故に、設計の標準化やCAD(Computer Aided Design)化、CAE(Computer Aided Engineering)化は困難であると言われてきた。このような中でも、橋梁設計の分野は比較的標準化が進んでおり、昨今の情報技術の進歩とあいまって、CAD化、CAE化が実現しやすい状況になってきている。しかしながら、プレストレストコンクリート(以下PCと称す)橋梁の設計においては、設計荷重に対してプレストレスを人為的に加えて制御するため、鉄筋コンクリート橋梁のように補強鋼材の配置が一義的に決定されることはない。特に、不静定構造物におけるPC鋼材の配置では、PC構造に精通した熟練技術者の経験と勘が要求される。近年、こうした個人に依存している技術を標準化し、システム化する要求が高まってきている。

このような背景を踏まえ、設計のさらなる標準化を進め、情報技術を駆使することによる設計の省力化、高品質化および高精度化を目的として、知識データを用いた3次元PC橋梁設計支援システム「CAPS:Computer Aided PC Bridge Engineering System」を開発した。本システムは、新たな設計概念を取り入れており、次世代のPC橋梁の設計スタイルを提言したものである。

本稿では、本システムが有する特徴的機能を中心に紹介する。

2. 開発コンセプト

2.1 情報化により一元的に統合化された設計環境

本システムは、現時点における先端の情報技術を駆使し、コンピュータネットワーク環境の中で、異なるハードウェア・種々のアプリケーションソフト・データベースなどをシステムインテグレートすることにより、設計の上流工程から下流工程までを一貫して行うことを目指し開発を行った。本システムは、EWS(Engineering Work Station)のUNIX上で動作し、X-WindowシステムおよびOSF MotifなどのGUI(Graphic User Interface)を駆使することにより、設計者にフレンドリーな新しい設計環境を提供している。

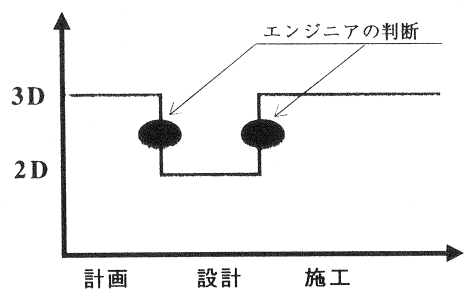


図-1 設計情報フローと次元の関係

2.2 3次元データの活用によるコンカレントエンジニアリングの実現

一般に、土木構造物が構築されるまでの業務の流れ、すなわち設計情報フローは、図-1に示すように「計画」・「設計」・「施工」と大きく3つのフェーズに分けることができる。土木構造物は自然界すなわち3次元空間に存在するので、「計画フェーズ」では当然のことながら3次元空間を想定して計画がなされる。しかし、「設計フェーズ」では、設計手法がコンピュータの導入初期に確立されており、設計の省力化から、多くの場合

2次元にモデル化されたものによって処理されている。設計において3次元で処理されるのは、局部解析や一部の重要構造物だけである。さらに「施工フェーズ」では、設計の成果物として得られた2次元情報としての図面をもとに、再び3次元情報に復元されて実際の構造物が建設される。

このように「計画」から「施工」までの各フェーズにおける設計情報の次元が異なるため、あるフェーズにおける修正に伴う変更作業には、設計データの次元を変換する作業も含まれる。また、次元の変換では、なんらかのモデル化による情報の欠損があり無駄が生じる。これが設計作業を複雑にしている一因であると考えられる。

本システムでは、統合的なコンピュータ環境のもと、3次元橋梁モデルを中核に、全設計工程を通じて設計データを一元的に管理する。すなわち、PC橋梁の線形計画からPC鋼材配置、構造解析、製図、数量計算、緊張計算に至る設計工程において全ての設計データはコンカレントな連想性を示し、1つの修正も各設計工程における全ての設計データにリアルタイムに反映される。例えば、PC鋼材配置の修正により、構造データから緊張管理データに至るまでの全てのデータは、同時に変更される。

また、3次元の「実モデル」として、実際の構造をできるだけ忠実に表現するので、設計情報の欠損はなく設計精度の向上が実現される。なお、本システムでは、通常の「設計モデル」への変換ロジックも組み込まれており、「実モデル」と「設計モデル」の間で自動的に変換も行われる。

2.3 エキスパートシステムへのアプローチ

本システムには、設計データベースとして「設計基準データ」と「知識データ」と称する2種類のデータが内蔵されており、設計照査・施工照査などのエキスパートシステム機能も併せもっている。設計者は、これらのデータを参照したり、これらのデータに基づいてチェックを行いながら、対話形式により独自の判断を加えながら設計を進めることができる。

「設計基準データ」は、各設計基準類に準じた構造細目に関するデータ、PC鋼材およびその定着工法に関するデータなどのいわゆるデータベースの色彩の濃いデータ群である。

「知識データ」は、設計業務の中で熟練技術者の勘と経験に依存していた部分を体系的に整理を行った上で標準化し、これらをコンピュータ技術と統合したもので、エキスパートシステムとしての役割を担っている。具体的には、PC鋼材配置知識データ、施工性知識データ、埋設物との干渉チェックデータなどを指す。

例えば、PC鋼材の配置に際しては、各設計基準に従って構造細目などのチェックをコンピュータが自動的に行った結果、決められたルール以外の配置があれば、本システムは警告を出して知らせる。

また、設計データベースの内容については、設計基準の改訂に伴うバージョンアップが容易で、かつ、設計者が個々の設計のグレードや対象構造物の重要度に応じて自由に変更することも可能である。

3. システム構成

本システムは、3次元橋梁モデルを作成するための「構造モデル作成サブシステム」および「PC鋼材配置サブシステム」を中心とした、複数のサブシステム群から構成されている。システム構成図を図-2に示す。

4. 特徴的機能

以下に、各サブシステム別に、その特徴的機能を紹介する。

4.1 構造モデル作成 サブシステム

(1) 3次元橋面線形計算

まず、橋梁の構造モデルを3次元で作成するために、基本となる橋面の線形計算を行う。線形計算は、システムに内蔵されている線形計算プログラムにより3次元で行われるが、入力データは、グラフィカルな専用エディターを用いて対話形式で作成する。

さらに、線形計算において設定する線形ラインや設計断面には、橋梁幅員線や橋脚上断面、あるいは施工目地断面のような属性(意味)を与えておく。これは、後に行うPC鋼材配置や設計データ生成の際に設計者に役立つ情報を提供することになる。

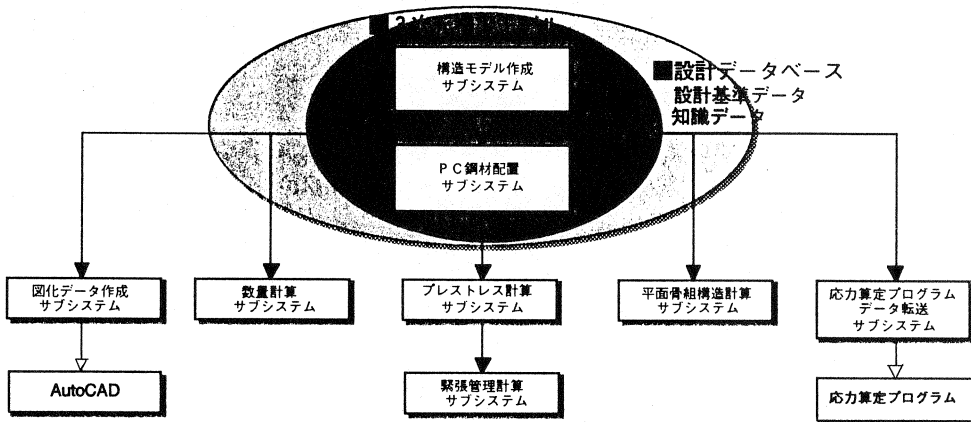


図-2 PC橋梁設計CAEシステム構成図

(2) 構造データ入力

3次元橋面線形計算によって得られた橋面の3次元座標をもとに、コンピュータの仮想空間に橋梁の構造モデルを3次元で作成する。本システムは、桁の種類として箱桁、ホロー桁、版桁、下路桁の4タイプに対応しており、各断面についてセルの数などを任意に指定できる。構造データの inputs は、各桁タイプに応じて設計者のイメージに合った入力ができるようなグラフィカルなインターフェースにより対話形式で行われる。

橋梁の各部材の形状変化は、数値および関数で定義することができる。入力結果は、画面上でグラフィカルに表示されるため、データの整合性を視覚的に確認することができる(図-3参照)。ここでは、さらに、ハンチ(2段ハンチ、サークルハンチが可能)や開口部、横桁、伸縮装置の切り欠きなども入力できる。

また、構造モデルは、3次元のデータとして取り扱われるため、任意断面の詳細寸法などの幾何学情報を画面上で確認することができる。さらに、任意の視点から全体構造を確認することが可能である(図-4参照)。

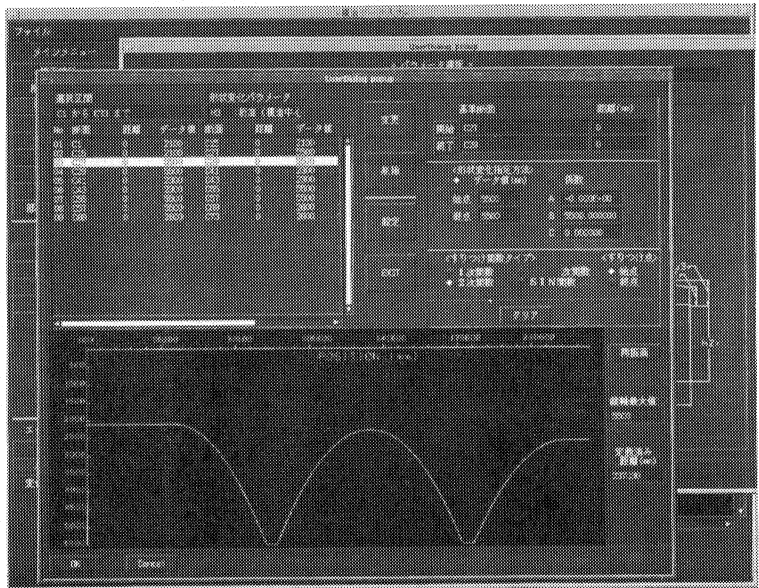


図-3 構造モデル作成

4.2 PC鋼材配置サブシステム

(1) PC鋼材レイアウト

本機能では、X-Windowシステムの機能によりコンピュータ画面に同時に複数のウインドウを開き、様々な設計データを随時参照しながら、橋梁構造モデルの中に縦締めPC鋼材をCAD的なオペレーションにより、平面線形も考慮にいれて3次元的に配置することができる。

PC鋼材の配置にあたっては、まず、平面図・側面図・横断面図を必要に応じて画面上に複数開いておき、こ

これらの図面を参照しながらCAD的な機能を持つコマンドを操作することにより、鋼材レイアウトを短時間に行うことが可能となる。

PC鋼材の定着工法としては、VSL工法、フレシネー工法、SEE工法など代表的な10工法に関するデータを内蔵しており、各工法に対応した緊張材の許容緊張力の他に、各ユニットに対応した定着装置・ジャッキのサイズ・緊張スペースなどを参照することができる。

また、PC構造物ではPC鋼材を配置する上で必ず埋設物との干渉チェックが必要となる。

本システムでは、埋設物として、横締めPC鋼材、鉛直締めPC鋼材、排水装置などを配置することができる。これらの埋設物をあらかじめ配置することにより、設計者は、縦締め鋼材を配置できる範囲を事前を知ることができる。

こうして作成されたPC鋼材データは、構造データと同様に3次元のデータとして取り扱われるため、任意の断面におけるPC鋼材配置や埋設物との位置関係などを画面上で確認することができる(図-5参照)。

(2) エンジニアリングチェック機能

本システムには、先に述べた2種類の設計データベースを内蔵しており、これらをもとに、各種設計基準(道路橋示方書、道路橋設計便覧、道路橋施工便覧、道路公団設計要領第2集など)に準じた構造細目、PC鋼材と埋設物との干渉、施工性に関わる項目などについて自動チェックを行う。表-1に主なチェック項目を示す。

チェックの結果は、画面上でグラフィカルに確認できる他に警告メッセージでも確認することができ、該当鋼材がどこでどのチェック項目を満足していないなどの情報が一目瞭然とわかる。

(3) 設計データのリアルタイム生成

PC鋼材の配置に際して設計者は、任意の断面についての最新の断面定数(断面積、断面1次モーメント、

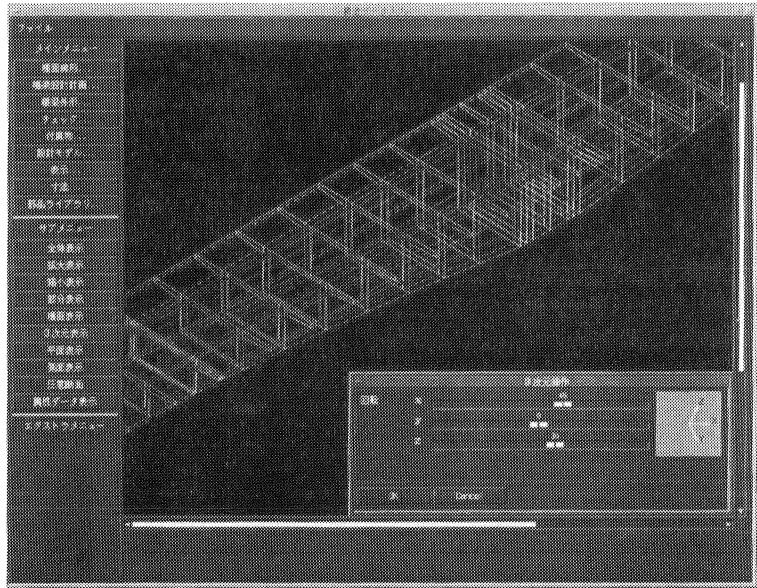


図-4 3次元構造モデル

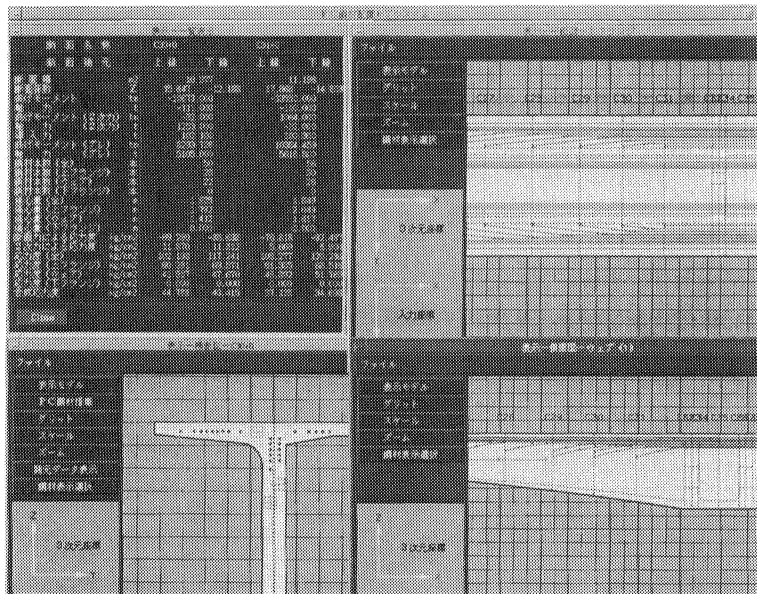


図-5 PC鋼材レイアウト

断面2次モーメント、ねじり断面2次モーメントなど)や概算応力度などの設計データをいつでも参照することができ、効率よくPC鋼材の配置を進めることができる。

4.3 プレストレス計算サブシステム

「構造モデル作成サブシステム」および「PC鋼材配置サブシステム」で生成された構造データとPC鋼材データを、システムに内蔵しているPC鋼材形状計算プログラムに転送する。これにより、多数のPC鋼材データの輸入は、大幅に省力化されるとともに、施工ステップを考慮したPC鋼材群のグループ化が可能である。

4.4 平面骨組構造計算サブシステム

システムに内蔵している平面骨組構造計算プログラム用の入力データを自動生成する。ここで対象とする荷重は死荷重およびプレストレス荷重である。

4.5 応力算定プログラムデータ転送サブシステム

システム外の応力算定(活荷重影響線解析、クリープ解析等を含む)プログラムとのリンクを図り、システム内で自動生成した入力データを、コンピュータネットワーク環境を利用して、所定の場所に自動転送する。

4.6 数量計算サブシステム

形成された3次元橋梁モデルをもとに、ハンチ、開口部、横桁、伸縮装置の切り欠きなども考慮にいったコンクリート体積および型枠面積を各ブロック別に算出する。算定の方法は、計算根拠として手計算にて照査ができるように、一般的な平均断面法による。また、3次元PC鋼材配置データをもとにPC鋼材詳細形状表を1本毎に出力する他にPC鋼材重量を算出する。

4.7 図化サブシステム

形成された3次元橋梁モデルをもとに、CAD図面用データとしてDXF(Data eXchange Format)ファイルを出力し、一般構造図、PC鋼材配置図、PC鋼材形状図を作成する。図面は、これらをもとにオートデスク社のAutoCADにより最終図面として仕上げる。

4.8 緊張管理計算サブシステム

設計断面に所要のプレストレスを導入するための緊張計算を行い、緊張管理グラフを作成する。図-6にプレストレス力分布図を示す。

表-1 主なチェック項目

1	PC鋼材の最小かぶり
2	PC鋼材とPC鋼材とのあき
3	主鉄筋とPC鋼材とのあき
4	PC鋼材の最小曲げ半径
5	シースの曲げ上げ及び曲げ下げ位置のシフト量
6	定着具間の必要最小間隔
7	定着具の最小縁端距離
8	定着具支圧面からの直線部の必要最小距離
9	端横桁付近における定着位置の制限
10	PC鋼材の必要最小ラップ長(ウェブ定着の場合)
11	PC鋼材の必要最小シフト長(上床版及び下床版定着の場合)
12	同一施工目地における最大及び最小定着本数
13	定着位置と圆心位置との最大距離(ウェブ定着の場合)
14	パイプレータ挿入幅の確保
15	PC鋼材と上床版横締め鋼材との干渉
16	PC鋼材と鉛直締め鋼材との干渉
17	PC鋼材と横桁横締め鋼材との干渉
18	ジャッキスペースと躯体との干渉
19	PC鋼材と排水設備との干渉
20	PC鋼材と支承部アンカーバーとの干渉

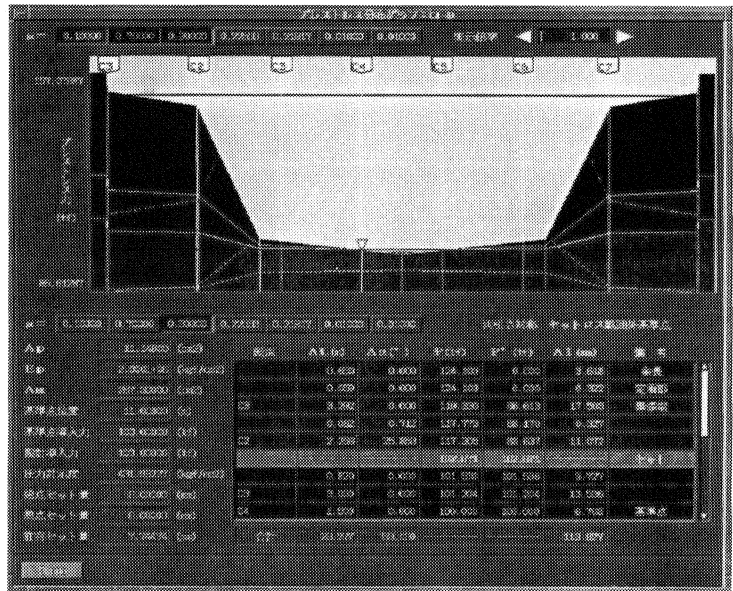


図-6 プレストレス力分布図

5. 今後の展望

本システムは、次世代のPC橋設計支援システムを目指して開発されたものであるが、現在の仕様は未だ発展途上段階にあることは否めず、今後さらに改良を加えて将来の実用に十分耐え得るものとして完成していく必要がある。以下に、本システムが今後目指していくべき姿とこれを実現するために解決すべき問題点を整理する。

(1) コラボレーションの実現

設計の情報化が高度になると、コラボレーション(共同設計)という新しい概念が生まれ、新しい設計環境が実現する。具体的には、複数の設計者が、設計情報ファイルを共有しながら同一の構造物を同時に設計していくことであり、これにより最適設計を行う上でのリビジョン管理などが容易になる。

問題点としては、データセキュリティが挙げられ、複数の技術者が同一ファイルにアクセスすることも可能となるため、アクセス権限などのプロジェクト管理が今以上に重要となる。

(2) 最適設計

1回毎のトライアルに要する時間が大幅に短縮されることにより、同一時間内で繰返すことのできるシミュレーション回数が増え、PC鋼材の最適配置が可能となる。将来的には、ファジー理論を応用したコスト最小規準によるPC鋼材の自動配置をも可能としたいと考えている。ただし、システム化はともすれば設計技術のブラックボックス化を招くため、若年技術者の体系的な教育がさらに必要となる。

(3) 高付加価値構造物の設計

高度成長期においては、構造物は専ら機能だけを重視して構築されることが多かった。しかし、今日、構造物には多様な役割が求められてきている。設計者は、本システムの機能を利用することにより、以下に示すような付加価値を高めることもできる。今後、設計者は、これらの機能を十分に理解し、効率的に活用することにより、高い付加価値を持つ構造物の設計を目指すことが肝要である。

- ①景観性：橋梁モデルが3次元の情報で表現されているため、景観的な照査を視覚的に行うことができる。
- ②耐久性：構造細目チェック機能などにより、高い耐久性を有する構造物の設計が可能となる。
- ③施工性：システム化された熟練技術者のエンジニアリング技術を活用することにより、施工性の良い構造物の設計が可能となる。

(4) 情報化施工への応用

設計データがデジタルの情報として一元的に管理されているため、施工省力化のための情報としても応用できる。将来的には、安全性への配慮および急速化施工の見地からも、移動式作業車等の型枠セットや緊張管理の自動化などへの応用も考えられる。

6. おわりに

以上、当社が独自に開発したPC橋梁設計支援システム「CAPS」についての特徴的機能を中心に報告したが、本システムは運用を開始したばかりのところである。今後、さらなる機能の充実を図っていくことにより、本システムによる新しい価値の創造や顧客ニーズへの迅速な対応が可能となり、その結果、高い顧客満足が得られることが期待される。

最後に、本システムの開発に当たり、これまで多大なる御指導、御尽力を頂いた関係各位の方々に対し、誌上をお借りして深く感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1) A.Riikonen: Integrated Design System for Concrete Bridges, Proceedings of FIP Symposium'93, Oct.1993