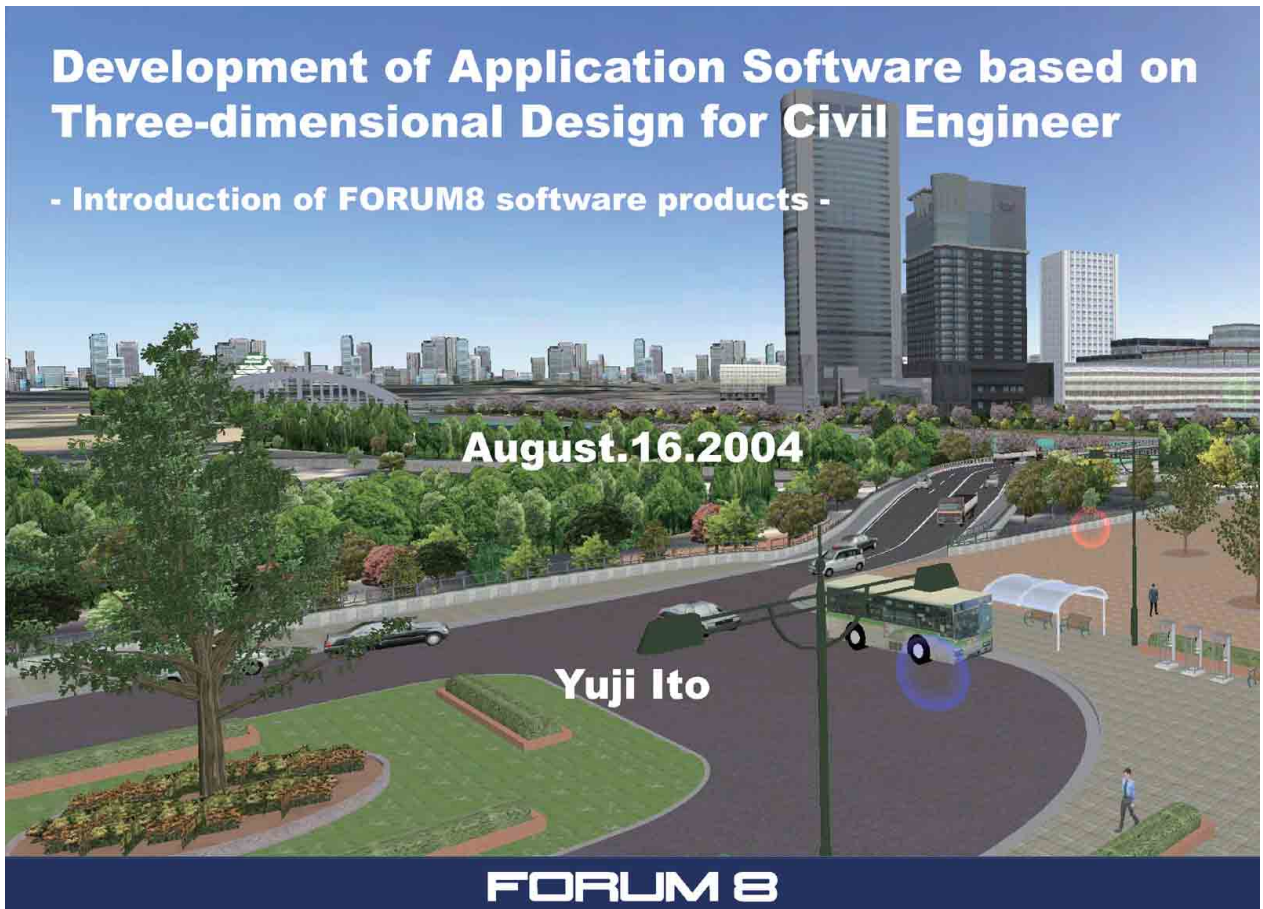


# Development of Application Software based on Three-dimensional Design for Civil Engineer

- Introduction of FORUM8 software products -



## 「土木設計者のための3次元設計をベースとしたアプリケーションソフトの開発」講演概要

日本では、高度成長期を経て現在に至るまで、急速な社会基盤整備が進められ、多くの土木構造物が設計、施工されてきた。これらの構造物等の設計は、パーソナルコンピュータの出現により、パソコン草創期にあたる1982年頃に登場したパッケージ・ソフトウェアに大きく支えられる方向が決定的となった。

パソコンソフトウェアの本格普及からの現在までの20数年間における設計支援ソフトウェアの変遷として、多くの影響因子とソフトウェアの変貌が挙げられる。初期の段階では、一部の構造物を対象とし、かつ限定的な計算機能をサポートしたものであったが、ハードウェア、基本ソフトウェアの驚異的な性能向上に追随して、大規模、高機能化を果たしている。また、日本国内において、様々な出来事や社会現象が生じてきており、土木構造物の設計にも大きく影響を与えている。阪神・淡路大震災を契機とした耐震基準の見直しは、記憶に新しいところであるが、多くの設計基準類が頻繁とも言える改訂を余儀なくされており、大きく影響を受けた設計支援ソフトウェアは、設計における重要な地位を得るに至っている。さらに近年では、性能規定や新材料、新工法の採用など、多様な設計手法、高精度解析が求められるようになってきている。SI単位への移行や電子データ交換など国際化への対応は、もちろんのこととして進められてきている。

このように日本で経験された土木設計、構造物の設計におけるソフトウェアの対応は、中国においてもその経験則を選別して生かせる部分が大いに存在する。方や今後予測されうる技術革新への対応も早い段階での取り組みが重要である。本講では、これらの変遷の中で学ぶべきソフトウェア技術や今後あるべき設計ソフトウェアの方向性を具体的なソフトウェア・プロダクツの紹介を通じて提案したい。

## 講演要旨:

### 1. 日本の土木設計計算ソフト草創の時代

- 1) スーパーコンピューターでのソフト開発 1980 年
- 2) パソコン登場、漢字、グラフィックスが使える 1981 年
- 3) 土木設計計算パッケージソフトの登場 1982 年

### 2. PCの進歩と開発環境、利用環境の変遷

- 1) 開発環境と利用環境は大きく変わった 1982-2004 年
- 2) これからも変わる、「.NET」(R)への対応へ 2004 年

### 3. 設計基準の変更と設計ソフトの対応

- 1) 設計基準の変更とソフトのバージョンアップ
- 2) 阪神・淡路大震災と耐震設計ソフト
- 3) 国際化へ向かうか？日本の設計計算ソフト

### 4. 今後の設計ソフトの方向性

- 1) 今後のテーマ<中国 & 日本>  
今後のテーマ、その1、景観検討、環境配慮、合意形成を支援する  
その2、3次元技術をベースにした高精度設計を支援する  
その3、国際化・標準化のために最先端IT技術を支援する
- 2) テーマを実現する3次元設計をベースにしたソフト事例
- 3) 今後あるべき設計ソフト

## 講演内容:

### 1. 日本の土木設計計算ソフト草創の時代

日本では、高度成長期を経て現在に至るまで、急速な社会基盤整備が進められ、多くの土木構造物が設計、施工されてきた。これらの構造物等の設計は、パーソナルコンピュータの出現により、パソコン草創期にあたる1982年頃に登場したパッケージ・ソフトウェアに大きく支えられる方向が決定的となった。

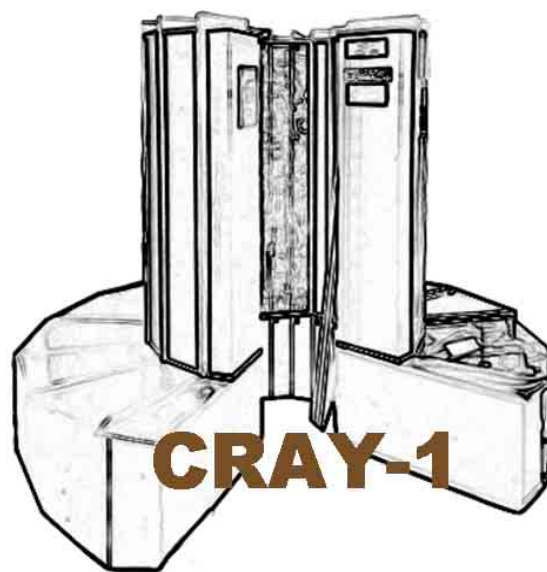
#### 1)スーパーコンピュータでのソフト開発 1980年

土木構造物設計用アプリケーションソフトは、パソコン用ソフト出現以前は、汎用コンピュータでの構造解析用プログラムなどを開発し、当初CDC(コントロールデータ)G20専用の構造解析用ソフトウェアなどを利用していた。汎用コンピュータは、伊藤忠電子計算センター(現CRCソリューションズ)などの計算センターが所有していたが、使用料も高額であり、時間単位の従量制が主流であった。各種プログラムを、コンピュータ使用の便宜をはかって貰うのと引き替えに、無償で開発したのが設計で本格的に使用する構造解析アプリケーションソフトの始まりであった。

その後、使用コンピュータは、CDC6600さらにスーパーコンピュータCREY-1へと超大型化した。これらのプログラムは、構造解析用プログラムSTARシリーズとして利用されていた。CREY-1は、伊藤忠電子計算センター(現CRCソリューションズ)が米国CRAY社から日本で初めて、導入したものである。

今でも伝説的なCRAY-1の風貌は、配線を最短にするための円筒形構造とガス冷却方式を採用した奇妙なスタイルが印象的であった。ただ、人々を驚かせたのは、その性能である。当時の汎用コンピュータ(メインフレーム)機の最高性能が6-10MIPS程度であったのに対し、CRAY-1では150MIPSに達する。構造解析用プログラムは、CRAY-1でFANSY-BRIDGEへ発展していった。

橋梁メーカーでは、大変形解析を必要とする吊橋解析などの高度解析における計算機利用は、パロース社などのコンピュータを自社で導入して利用することも一般的になっていった。関門橋などの解析用のプログラムはすべて自社コンピュータ用として開発された。



#### 2)パソコン登場、漢字、グラフィックスが使える 1981年

土木構造物設計における汎用コンピュータ利用が大手企業等において一般的になるとともに、計算センターの大型コンピュータにあるソフトウェアを利用することも一般的になっていった。電話回線を介して大型計算機と接続できる端末機を設置し、RJE(Remote Job Entry)によるソフトウェア利用もさらに一般的になった。また、マイコンから発達したパソコン以前のコンピュータ利用も中堅の土木設計会社で導入が進められたが、汎用コンピュータほどではないが、やはり高価なシステムという認識であった。

これらのアプリケーションソフトは、この時点までは英語キャラクタベース、バッチ処理を基本としたものであった。1981年に日本の沖電気工業株式会社から発表されたif800model30は、日本国内で初めての本格的なパーソナルコンピュータのひとつであるが、漢字とグラフィックスが使用できることから、アプリケーションソフト開発のターゲットマシンとなった。漢字・グラフィックス入出力、対話型インターフェースは、汎用コンピュータでは実現できていない一般的には、重要な機能であったが、これを意図もたやすく実現でき、加えて経済性という革命的な変革を起こす可能性に満ちた条件が備わっており、土木設計ソフトのフィールドにおいても、ビジネスチャンスととらえる企業をいくつも輩出した。

### 3) 土木設計計算パッケージソフトの登場 1982 年

日本構造技術(株)開発部(現(株)フォーラムエイト)が開発したソフトウェアパッケージ製品は、下表の通りである。if 800model30 では、開発言語としてFORTRANに加え、Basic (O-Basic) が使用できたため、対話型システムではあるが、計算部分をFORTRANコードのまま、バッチ処理を内部的には行い、入出力をBasicで開発する手法でソフトウェア全体を作り上げた。入出力は、漢字、図形インターフェースをインタラクティブに活用した対話型システムで、グラフィカルでわかりやすいソフトウェアを最初から提供できたと言える。特に出力を成果品として納品することから、計算書が1枚 3000-4000 円と言われた時代に簡単にプリンタ出力で作れ出すことができたため、設計計算ソフトが急速に普及することとなった。

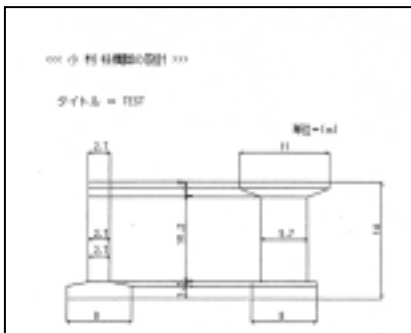


#### ■ if800/UC-1 システム ソフトウェア一覧 (カタログ抜粋)

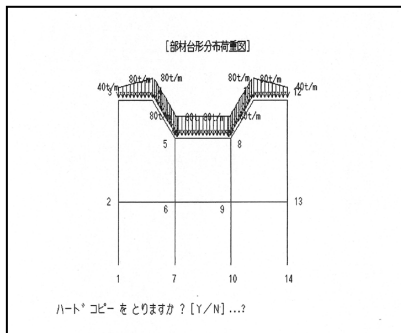
骨組み計算プログラム	
任意形平面骨組みの解析 -RAHMEN-	骨組図、荷重図、応力図の作成、各種荷重、荷重の組み合わせが可能。
ローゼ桁の計算	下路ローゼ桁の影響線作図
上下路ランガー桁の計算	影響線作図、影響値、影響面積の計算
連続桁の計算	各種支点条件、弾性床上梁等の断面力計算
格子桁の計算	曲げ振り理論による剛横桁を有する単純格子桁の計算
断面計算プログラム	
RC断面の計算	任意形二軸応力に対する応力度計算 終局断面計算 円形小判形の断面計算
鋼断面の計算	合成桁、非合成桁の計算
下部工設計プログラム	
橋脚の設計	壁式、張り出し式橋脚の安定計算
橋台の計算	逆T式橋台の安定計算、扶壁式橋台の安定計算

#### ■ 出力サンプル

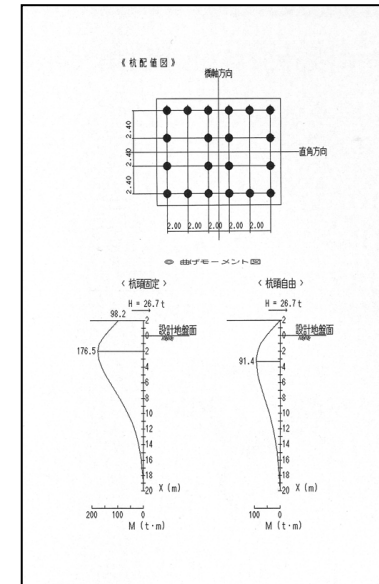
##### ▼任意形平面骨組計算 (荷重図出力画面)



##### ▼橋脚の安定計算 (形状図画面)

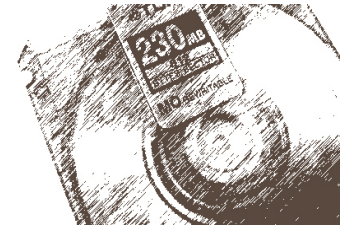


##### ▼杭基礎の安定計算 (プリンタ出力例)

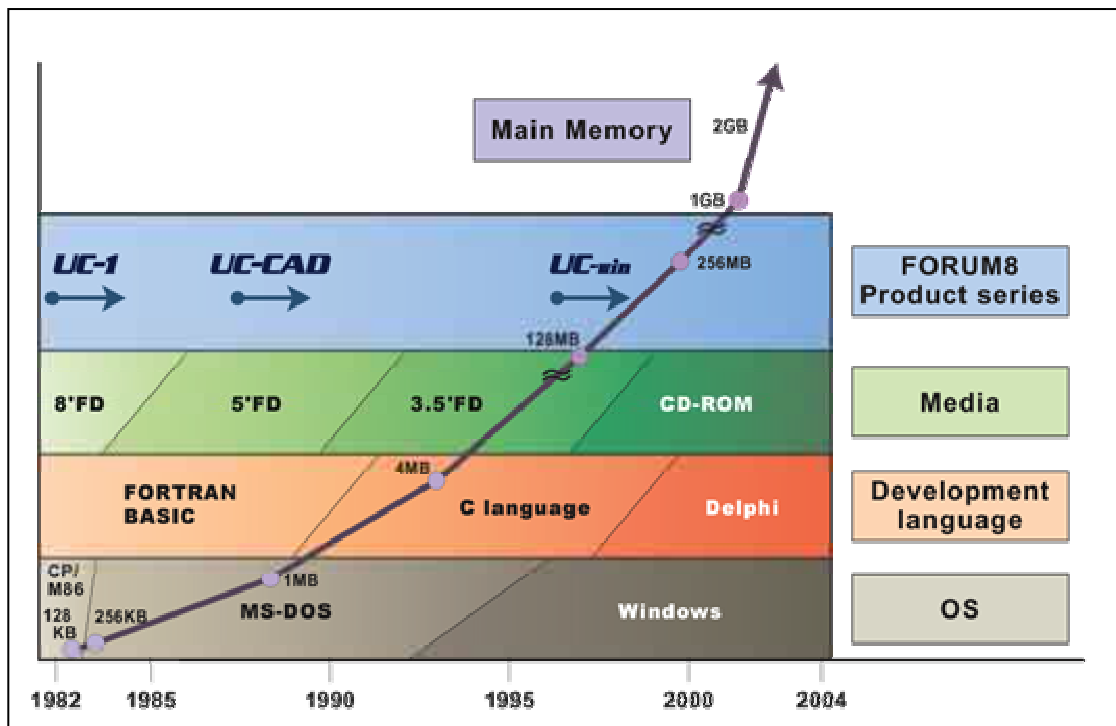


## 2. PCの進歩と開発環境、利用環境の変遷

パソコンソフトウェアの本格普及からの現在までの20数年間における設計支援ソフトウェアの変遷として、多くの影響因子とソフトウェアの変貌が挙げられる。初期の段階では、一部の構造物を対象とし、かつ限定的な計算機能をサポートしたものであったが、ハードウェア、基本ソフトウェアの驚異的な性能向上に追従して、大規模、高機能化を果たしている。



### 1) 開発環境と利用環境は大きく変わった 1982-2004 年



PCの飛躍的な高度化により、ソフトウェアの開発環境、あるいは、ユーザとしてのソフトウェア利用環境は、大きく変わっていったのは、周知の通りである。具体的には、土木設計計算ソフトに主として利用されたOSとしては、当初短期間はCP/M86からMS-DOSの比較的長い時代が続き、Windowsに完全に切り替わっていった。OSをベースとした開発言語は、当初、誰でも比較的容易にプログラミングができたBasicのプログラム資産が実際的には、継続的な保守、アップグレードにとって多くの問題があることが明確となって、パッケージソフトを開発保守するには、構造的な開発言語を試行する傾向が強まった。(株)フォーラムエイトの例では、FORTRAN→Basic→C→Delphiと変遷してきており、言い換えると計算指向型言語→入出力高度化簡易言語→プログラム構造化言語→高級言語のように変遷してきたと言えるのではないかと。

勿論ハードウェアの進歩は、OS、ソフトウェアに勝る勢いで大きく変わってきたのはいうまでもない、メインメモリは、実用的な初期のPCでの64kb程度から、現在Windowsの4GBまでユーザとOSの使用するメインメモリは、単純比較で実に65536倍である。また、外部記憶装置や記憶媒体も大きく変貌しているが、ソフトウェアパッケージの提供形態で考えると8インチFDからCD-ROM、DVDあるいは、ダウンロードに変遷してきており、これらの変革は、ユーザにとって大きな計算ソフト利用形態の変化が見られ、時にはこれらの変化に適応できないユーザもあった。

当然のことながら、ソフトウェアも巨大化し、ソフトウェアの開発スタイルも大きく変わっていくことになったが、本講では、特に言及は、控えることとする。



## 2) これからも変わる、「.NET」(R)への対応へ 2004年

3次元モデルを生成するソフトウェアにおいては、GB(ギガバイト)単位のメモリを搭載して稼働させるということが常識的になってきた。32bit系CPUを搭載したマシン上では、32bitのメモリアクセス可能な物理的限界4GB(アプリケーションは2GB)に到達してしまい、通常2GBのシステムメモリ空間をアプリケーション側で3GBに拡張して使う工夫も行っているが、現状でも限界に達していると言える。

物理的限界に達したとも言えるメモリ空間の限界は、コンピューター(CPU)のメモリアクセス時の64bit化により、根本的に解決することができる。64ビットプロセッサ(AMD Opteron)では、アクセス可能なアドレス空間が従来の32bit系CPUの4GBに比べ、約4000倍/16テラバイトの仮想空間を扱うことが可能になっている。ただし、メモリ空間は、問題解決の第一歩であり、マザーボードの制限などは、当面32bit互換戦略も手伝って徐々に拡張されると考えられる。

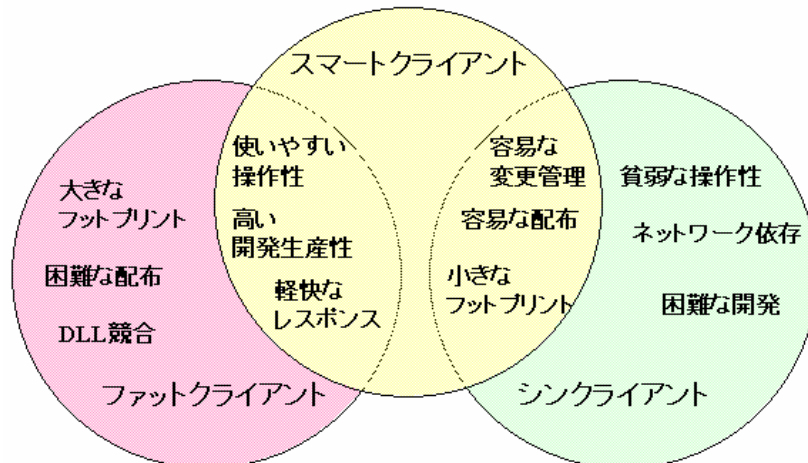
Windowsアプリケーションでは、「.NET」の64bit対応により、現時点では、ほぼ無限大のメモリ空間が利用でき、アプリケーションの可能性を飛躍的に高めることは間違いない状況であり、できるだけ早期に「.NET」(64bit)対応版を開発する事が望まれる。フォーラムエイトのアプリケーションでは、数千台を超える交通流シミュレーションのリアルタイム表現(3次元交通流)をサポートする「バーチャルリアリティソフトウェア」に大きな恩恵を与える。また、3次元材料非線形解析、例えば「COM3」では、膨大な結果ファイルを開覧する場合の内部メモリの利用により、即効的な効果がある。勿論、計算スピードにおける新しいCPUの利用においても恩恵が期待できるが、マルチプロセッサ環境では、マルチスレッドソフトウェアを開発することが肝要であり、フォーラムエイトは、これもまた開発の方向として取り上げなければならない。



### ■ メモリ空間の比較



一方、利用環境の変化としては、「.NET」の提唱するソリューションが実現し、かつ物理的環境(回線スピード、PCパフォーマンスなど)の構築を前提に、スマートクライアントをユーザが利用できる環境が整う。今後、土木設計におけるWebあるいはサーバアプリケーションの利用が飛躍的に伸長するものと見られる。日本国内でも現状では、ASPサービスは、土木設計での利用はごく限られている。日本の最大手に属するプロバイダ富士通の運営するNiftyの建設ポータルサイトにおいてもその利用はごく限られており、かつソフトウェアのレンタルの利用に限定されたダウンロードでの利用に近い形態である。前述の環境とアプリケーションが整備されれば、ローカルPCにおけるアプリケーションと比べて、圧倒的に貧弱なインターフェース、応答性を克服できるものと思われる。



### 3. 設計基準の変更と設計ソフトの対応

日本国内において、様々な出来事や社会現象が生じてきており、土木構造物の設計にも大きく影響を与えている。阪神・淡路大震災を契機とした耐震基準の見直しは、記憶に新しいところであるが、多くの設計基準類が頻繁とも言える改訂を余儀なくされており、大きく影響を受けた設計支援ソフトウェアは、設計における重要な地位を得るに至っている。さらに近年では、性能規定や新材料、新工法の採用など、多様な設計手法、高精度解析が求められるようになってきている。SI 単位への移行や電子データ交換など国際化への対応は、もちろんのこととして進められてきている。

#### 1) 設計基準の変更とソフトのバージョンアップ

日本の土木設計、とりわけ道路橋において最もポピュラーな準拠基準である「道路橋示方書」(社団法人日本道路協会)を例に設計基準の変更とそれがもたらすソフトウェアのバージョンアップについて説明する。道路橋示方書のルーツは、1886年に制定された「国道道の築造標準」である。また、関東大震災(1923年)後の1926年に内務省土木局が「道路構造令に関する細目案」を制定している。1939年には、「鋼道路橋設計示方書」の制定を経て、1972年に「道路橋示方書」(共通編、鋼橋編)が制定されている。

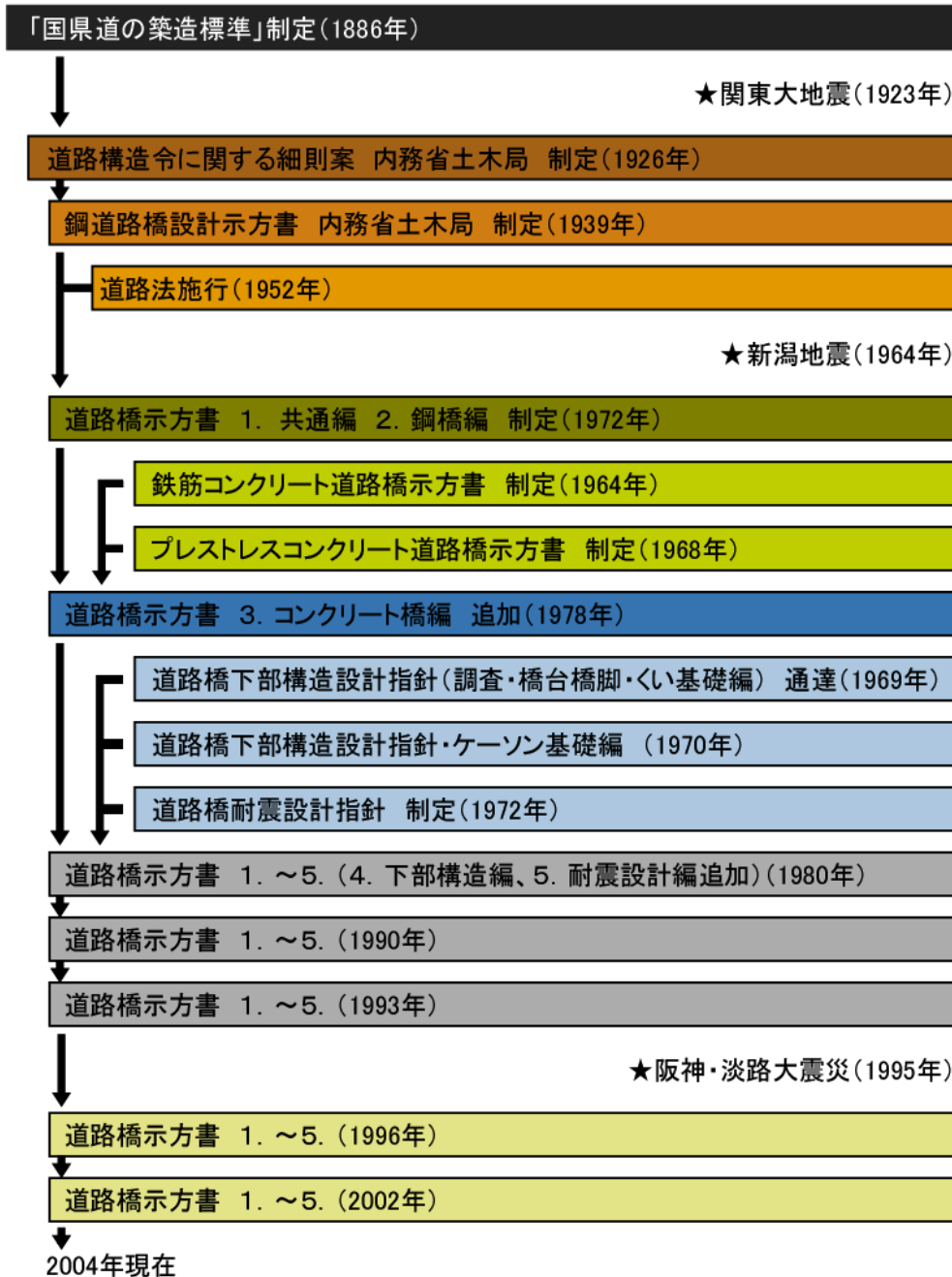
一方、鉄筋コンクリート道路橋については、鉄筋コンクリート道路橋示方書(1964年)、プレストレスコンクリート道路橋示方書(1968年)を経て、「道路橋示方書」(コンクリート橋編)が1978年に追加された。

パソコン用設計計算ソフトが準拠基準としたのは、この1978年発刊のコンクリート橋編、1980年の道路橋示方書・同解説(1. 共通編、2. 鋼橋編、4. 下部構造編、5. 耐震設計編)からである。前述の設計計算は、主としてこの基準に準拠した設計を支援するものであった。しかしながら、道路橋示方書は、これ以降も1990年、1993年、1996年、2002年と再三の改訂がなされ、大きなソフトウェアの対応の改訂を余儀なくされている。ソフトウェア自身の高度化に加え、これらの準拠基準への迅速な対応が数年単位で繰り返されることとなった。逆に言えば、準拠計算ソフトウェアがなければ、設計に大きな支障を来す自体となったことは、言うまでもない。

#### ■ 道路橋示方書(1970年～1996年に発刊されたもの)



<道路橋示方書改訂の歴史>





＜近年の道路橋示方書改訂内容の例＞

	改訂概要	耐震設計編の改訂概要
道路橋示方書 1.～5. 平成2年 1990年	それまでの技術的知見の蓄積を反映	鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査法の導入等耐震設計に関するそれまでの調査研究の成果をもととする改訂
道路橋示方書 1.～5. 平成5年 1993年	車両の大型化への対応や耐久性の向上等を図るために、鉄筋コンクリート床版及び床版橋関連の規定を一部見直し。	(改訂無し)
道路橋示方書 1.～5. 平成8年 1996年	耐震設計に関連する規定を中心とした改訂。	マグニチュード7級の内陸直下で発生する地震による地震動に対しても必要な耐震性を確保することを主な内容とする改訂
道路橋示方書 1.～5. 平成14年 2002年	性能規定型の技術基準を目指した改訂。要求する事項とそれを満たす従来からの規定とを併記する書式を基本とした構成。	橋の耐震性能等要求事項を明確化し、動的照査法の適用範囲を広げるなどの改訂。

＜直近の道路橋示方書改訂とバージョンアップの例＞

直近の改訂は、2002年の性能規定型への移行であった。1996年版が「仕様規定」として設計手法、材料、構造などを具体的に規定した設計のバイブル的な存在から、2002年版では、性能規定として、要求性能を規定してこれを満たすればよいという柔軟な設計に移行してきている。ただし、従来の規定も併記する形がとられている。また、動的照査法を適用する範囲を広げることで、具体的な照査方法を規定している。

この改訂により、既存のソフトウェアを改訂した例を表にまとめた。また、動的照査法をサポートしたソフトウェアの提供を行うために新たにソフトウェアを開発することで最新のプログラム開発技術を反映したソフトウェア製品を提供することとした。

分類	改訂の概要	ソフトウェア・プロダクト名						
		橋脚の設計	橋台の設計	震度算出(支承設計)	RC下部工の設計計算	杭基礎の設計	基礎の設計計算	深礎フレーム
フーチング	<ul style="list-style-type: none"> <li>上側引張の場合の有効幅</li> <li>せん断スパンの定義</li> <li>せん断耐力算定時の引張側の定義</li> </ul>	○	○	—	○	○	○	—
直接基礎	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル2地震時の断面照査</li> <li>支持力算出時の寸法効果の考慮</li> </ul>	○	○	—	○	—	○	—
杭基礎	<ul style="list-style-type: none"> <li>先端支持力度、周面摩擦力度の改訂</li> <li>鋼管ソイルセメント杭の追加</li> <li>SC杭の追加</li> <li>既製杭プレボーリング工法の追加</li> <li>パイプロハンマー工法の追加</li> </ul>	—	○	—	○	○	○	—
ケーソン基礎 鋼管矢板基礎 地中連続壁基礎	<ul style="list-style-type: none"> <li>先端支持力度、周面摩擦力度の改訂</li> </ul>	—	—	—	—	—	○	—
橋台	<ul style="list-style-type: none"> <li>修正物部・岡部法の地震時土圧(レベル1、2地震動に対する照査に適用)</li> <li>レベル2地震時のフーチング断面照査</li> <li>レベル2地震時の基礎の照査</li> </ul>	—	○	—	○	—	○	○
免震	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル2地震時の支承の設計変位</li> <li>橋脚に塑性化を考慮する場合： →橋脚の保有水平耐力に相当する水平力</li> <li>基礎に塑性化を考慮する場合： →基礎の最大応答変位に相当する水平力</li> </ul>	○	○	○	○	○	○	—

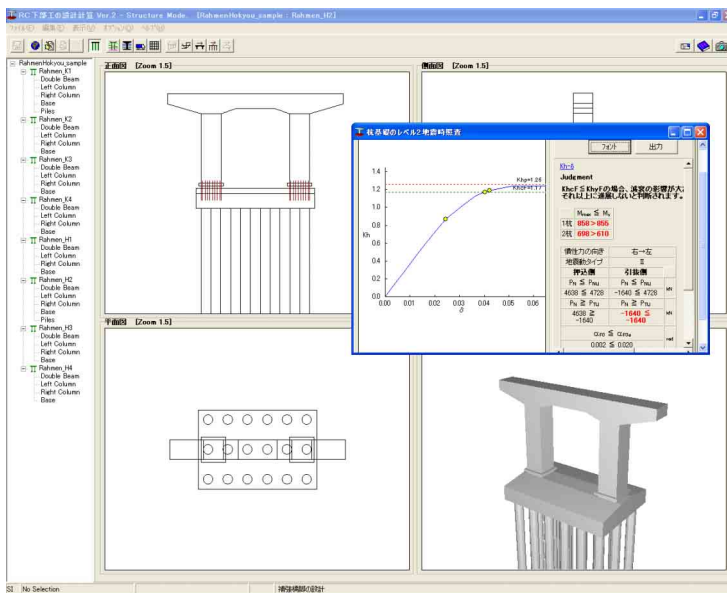
## 2) 阪神・淡路大震災と耐震設計ソフト

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、多くの尊い人命を失うこととなり、構造物等にも大きな被害を与えた。とりわけ阪神高速道路という基幹道路の倒壊により、その復旧が急がれた。建設省では、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様(案)」を2月27日にとりまとめ、関係機関に通知された。その後、本仕様は、当面の間の新設、補強の基準として準用される「復旧仕様」として、正式に1995年5月25日に通達された。

ソフトウェアの対応としては、復旧仕様(案)に基づく、RC橋脚の保有耐力照査プログラム開発の緊急性が高く、相次いで暫定版のリリースを数次にわたって行い、設計コンサルタントの要求に応じることを緊急的に行った。評価版として無償で配布することで当面の設計に対応した。復旧仕様対応として、「杭基礎の保有水平耐力」を開発し、後にこれらを統合した橋脚の設計計算ソフトを開発した。



### ■ 橋脚(ラーメン式補強構造)の設計ソフトウェア例 (FORUM8 UC-1 シリーズ)



## 3) 国際化へ向かうか？日本の設計計算ソフト

国際標準化については、土木学会、JACIC、SCOPE等を始め多くの組織が活動を行っているが、比較的最近の例で計算ソフトウェアそのものに大きく影響があった標準化に関わるものは、SI単位への移行が挙げられる。1993年全面改正、施行された「計量法」は、1999年10月を以て非SI単位の使用が禁止されることになった。計算ソフトウェアでは、併記を認める期間内は、SI単位、従来単位を切り替えて入力、出力表示する必要があり、比較的容易に対応できている。現在では順次移行後、従来版の廃止が定着している。また、2002年4月より「計量法」の改正、施行により、ベッセル楕円体をベースとした日本測地系から世界測地系への移行が行われた。影響のあるソフトウェアについては、日本の国土地理院が「測地成果 2000のための座標変換

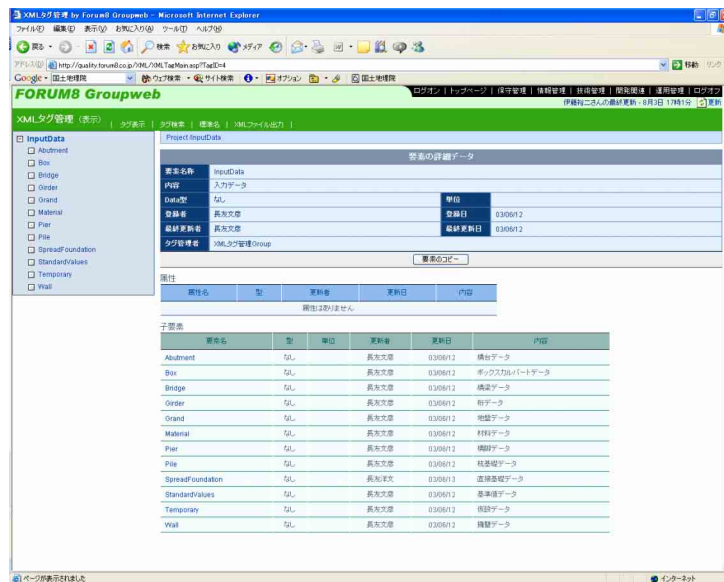


プログラムTKY2JGD」を簡単な登録、認証手続きにより、使用することができ、これについても比較的容易に移行することができた。ただし、日本測地系で既に作成された膨大な図面資産があるため、旧座標系の対応機能は、かなり長い将来にわたって必要であると言える。

これらの他にもXMLデータ交換標準をベースにした国内外の標準化へのソフトウェア対応がある。国土交通省が定める「電子納品基準案」では、電子納品成果の管理情報やXMLに対応した図面ファイルが規定されているが、設計計算の電子納品は、一般にワープロ文書などのオリジナルファイルと印刷イメージのPDFファイルを現在のところ、基準化しており、計算書のXML化は、今後の構造物等のプロダクトモデルの開発により、基準化されていくことになると考えられる。

フォーラムエイトのUC-1シリーズにおいては、全てのソフトウェアの入力、出力データは、フォーラムエイト標準によってXML化されている。ただし、現時点ではXMLタグ名の管理をグループウェアで実現している段階であり、プロダクトモデルを標準化しているわけではない。また、XMLデータの活用については、今後、提供される出力編集ツール“FORUM8 document server”により、WORD、PDF ネイティブ出力や XML マッピング機能をサポートするなかで順次活用が図られていくものとする。今後、国内外の標準化が進めば、データ構造の対応を迅速に進めていく予定である。直近の例では、Land-XML への対応を行なうソフトウェアも開発を予定している。

### ■ XML タグ管理グループウェア



一方、設計基準の標準化により、設計計算ソフトが国際的に標準化できるかという点で、UC-1 シリーズソフトウェアの断面計算プログラムで調査した結果を一部紹介する。BS(ブリティッシュ・スタンダード)8110とJSCE コンクリート標準示方書[構造性能照査編]及びフォーラムエイトの UC-win/SectionVer.1.04 の対応を表にまとめたものである。

この調査結果として、ソフトウェア設計、コーディング、テスト、ドキュメンテーション等を含む開発工数が約 9 人月程度で算定されている。もちろん、開発後の各種試用などのフィールドテストによる検証やソフトウェアのサポートも重要であるが、少なくともソフトウェアの基本構造を変えることなく、他の基準に対応が可能であり、最も開発工数を擁する入出力インターフェースの設計、開発が省力できる点で日本国内において既に実績のあるソフトウェアをベースに設計標準に対応させることが開発スピード、ソフトウェアの信頼性、コストにおいて有利であると考えられる。

BS8110とJSCEコンクリート標準示方書[構造性能照査編]およびUC-win/Section1.04.00 機能の対応

<基準対応比較概要>

対応表はBS8110:part1およびpart2における断面計算に関連する項目と、それと同等の項目がJSCEコンクリート標準示方書[構造性能照査編]にあるかどうかを示し、またその内フォーラムエイト製品(UC1RC断面計算Ver.3、およびUCwin/SectionV1.04.00の限界状態設計計算)でサポートしている機能の対応を、簡単に表したものです。

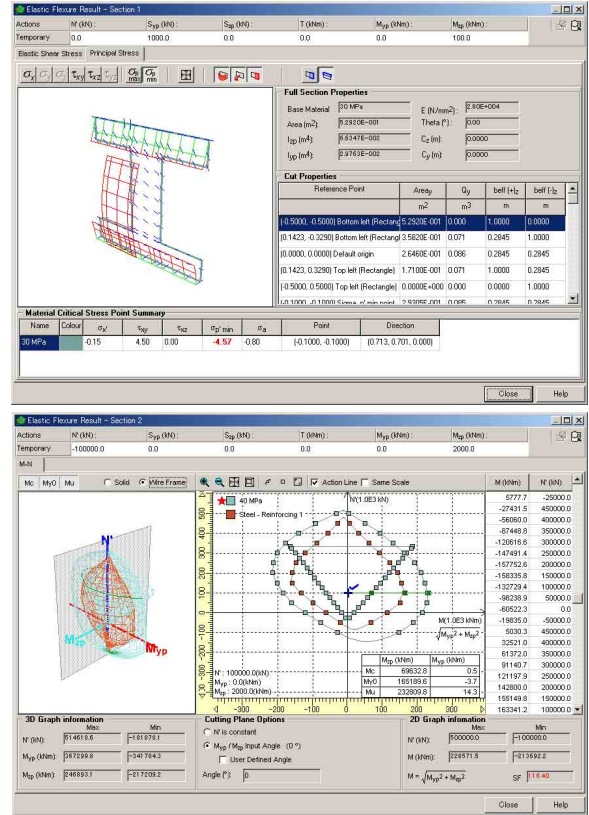
比較の結果まとめると以下のようになります。

- 1) BS8110part1にある断面計算に関連する内容は、許容値等は異なるもののほとんどがJSCEでも網羅されている。
- 2) しかし、UC-1RC断面計算Ver.3およびUC-win/SectionではJSCEの梁・柱を対象とした項目に限定される。
- 3) 2)の内容の内、JSCEとBS8110part1&part2でその考え方が大きく異なるのは、
  - a. part1:RC部材のUltimate limit stateにけるせん断に関する照査(3.4.5, 4.3.8)
  - b. part2:コンクリートの応力度ひずみ曲線(2.3)
  - c. part2:ねじりの照査(2.4)
  - d. part2:ひび割れ幅の算出式(3.8)
  - e. part2:軽量骨材の扱い(5)

である。その他は、JSCEでもほぼ同様内容を照査している。part2はpart1に加えて照査するような内容となっている。

4) 安全係数や材料データベース

part1のみで照査するかpart2を加えるかのオプション、またそれによって出力が異なってくるため、計算部の作成よりもこれら出力書式や結果表示画面制御に関する作業に開発工数を要する。現状、もっとも開発工数が要求されるのは、出力内容の英語化作業である。



British Standard 8110:part1		Japanese Standard of Concrete design by JSCE [Structural Performance Design] Comment: Difference point from BS8110	Supported in win/Section
Legend : ✓ Section Calculation item, -Not section calculation item,			
<b>1. General</b>	-		
<b>2. Design objectives and general recommendations</b>	-		
2.1 Basis of design	-		
2.2 Structural design	-		
2.3 Inspection of construction	-		
2.4 Loads and material properties			
2.4.1 Loads	✓	✓ Safety factors	✓
2.4.2 Material properties	✓	✓ Safety factors	✓
2.4.3 Values of loads for ultimate limit state (ULS)	✓	✓ Safety factors	✓
2.4.4 Strength of materials for the ultimate limit state	✓	✓ Safety factors	✓
2.4.5 Design load for serviceability limit states	-		
2.4.6 Material properties for service ability limit states	-		
2.4.7 Material properties for durability	-		
2.5 Analysis	-		
2.5.1 General	✓		✓
2.5.2 Analysis of structure	✓		✓
2.5.3 Analysis of sections for the ultimate limit states	✓		✓
2.5.4 Analysis of sections for serviceability limit states	✓	Same shape of stress-strain curve, but constants are different	✓
2.6 Design based on tests	-		
<b>3. Design and detailing: reinforced concrete</b>			
3.1 Design basis and strength of materials			
3.1.1 General	-		
3.1.2 Basis of design for reinforced concrete	-		
3.1.3 Alternative methods	-		
3.1.4 Robustness	-		
3.1.5 Durability of structural concrete	-		
3.1.6 Loads	-		
3.1.7 Strength of materials	✓	✓	✓



3.2 Structures and structural frames		BS4449, 4482, 4483 standard are not in JP	
3.2.1 <i>Analysis of structure</i>	✓	✓ Combination factor	✓
3.2.2 Redistribution of moments	-		
3.3 Concrete cover to reinforcement			
3.3.1 Nominal cover	-		
3.3.2 Ends of straight bars	-		
3.3.3 Cover against corrosion	-	Numbers of conditions	
3.3.4 Exposure conditions	-	Numbers of conditions	
3.3.5 Method of specifying concrete for durability	-		
3.3.6 Cover as fire protection	-		
3.3.7 Control of cover	-		
3.4 Beams			
3.4.1 General	-		
3.4.2 Continuous beams	-		
3.4.3 Uniformly-loaded continuous beams with approximately equal spans: moment and shears	-		
3.4.4 <i>Design resistance moment of beams</i>	✓	✓	✓ 1
3.4.5 <i>Design shear resistance of beams</i>	✓	Same shape of stress-strain curve, but constants are different	
3.4.6 Deflection of beams	-	*2	*2
3.4.7 <i>Crack control of beams</i>	-	By strength. Requirement of shear reinforcement check is none. Allowable shear stress (In the Structural details)	
✖Crack width check is in part2	✓	✓ by crack width	✓
3.5 Solid slabs supported by beams or walls	✓	(not investigate)	
3.6 Ribbed slabs (with solid or hollow blocks or voids)	✓	(not investigate)	
3.7 Flat slabs	✓	(not investigate)	
3.8 Columns			
3.8.1 General	-		
3.8.2 Moments and forces in columns	-		
3.8.3 Deflection induced moments in solid slender columns	-		
3.8.4 <i>Design of column section for ULS</i>	✓	✓	✓
✖Based on the part of Beam		Axial strength calculation, Checks of Bi-axial member	
3.8.5 Deflection of columns	-		
3.8.6 Crack control in columns	-		
3.9 Walls			
3.10 Staircases			
3.11 Bases			
3.12 Considerations affecting design details			
<b>4. Design and detailing: prestressed concrete</b>			
4.1 Design basis			
4.1.1 General	-		
4.1.2 Alternative methods	-		
4.1.3 Serviceability classification	-		
4.1.4 Critical limit state	-		
4.1.5 Durability and fire resistance	-		
4.1.6 Stability, robustness and other considerations	-		
4.1.7 Loads	-		
4.1.8 Strength of materials	-		
4.2 Structures and structural frames			
4.2.1 Analysis of structure	-		
4.2.2 <i>Relative stiffness (=2.5.2)</i>	✓	✓	✓
4.2.3 Redistribution of moments	-		
4.3 Beams			
4.3.1 General	-		
4.3.2 Slender beams	-		
4.3.3 Continuous beams	-		
4.3.4 <i>Serviceability limit state for beams</i>	✓	✓	✓
*No regulation for crack width			
4.3.5 <i>Stress transfer for beams</i>	✓	✓	✓
4.3.6 Deflection of beams	-		
4.3.7 <i>Ultimate limit state for beams in flexure</i>	✓	✓	✓ 1
4.3.8 <i>Design shear resistance of beams</i>	✓	Material safety factor, Resistant moment calculation is none	
		✓	✓
		Shear strength calculation, shear reinforcement check is none	

4.4 Slabs	✓	(not investigate)	
4.5 Columns *Same as 3.8	✓	✓	✓
4.6 Tension members	-		
4.7 Prestressing	-		
4.8 Loss of prestress, other than friction losses	-		
4.9 Loss of prestress due to friction	-		
4.10 Transmission lengths in pre-tensioned members	-		
4.11 End blocks in post-tensioned members	-		
4.12 Considerations affecting design details	-		
<b>5. Design and detailing: precast and composite construction</b>	✓	(not investigate)	
<b>6. Concrete, materials, specification and construction</b>			
6.1 Material specification	-		
6.2 Concrete construction	-		
<b>7. Specification and workmanship: reinforcement</b>	-		
<b>8. Specification and workmanship: prestressing tendons</b>	-		

※1 Stress brock method is not used

※2 BS8110part1 use the comparison of average shear stress & allowable stress. JSCE use the comparison of shear strength and force.

British Standard 8110:part2		Japanese Standard of Concrete design by JSCE	
Legend : ✓ Section Calculation item, -Not section calculation item,		[Structural Performance Design] Comment: Difference point from BS8110	Supported in win/Section
<b>1. General</b>	-		
<b>2. Method of analysis for the ultimate limit state</b>			
2.1 General	-	-	-
2.2 Design loads and strength	✓	✓ safety factor	✓
<b>2.3 Non-linear method</b>	✓	✓ Concrete stress-strain curve	*3
<b>2.4 Torsional resistance of beams</b>	✓	✓ Calculation	*3
2.5 Effective column height	-		
2.6 Robustness	-		
<b>3. Serviceability calculations</b>			
3.1 General	-		
3.2 Service ability limit state	-		
<b>3.3 Loads</b>	✓	✓ Importance of live load	✓
<b>3.4 Analysis of structure for serviceability limit states</b>	✓	✓	✓
<b>3.5 Material properties for calculation of curvature and stresses</b>	✓	✓ Young's modulus of concrete	✓ *4
<b>3.6 Calculation of curvatures</b>	-	✓	
3.7 Calculation of deflection	✓	✓	
<b>3.8 Calculation of crack width</b>		✓ Crack width calculation method	*3
<b>4. Fire resistance</b>	-		
<b>5. Additional considerations in the use of light weight aggregate concrete</b>	✓	✓ Characteristics of light weight aggregate concrete	*3
<b>6. Autoclaved aerated concrete</b>	-		
<b>7. Elastic deformation, creep, drying shrinkage and thermal strains of concrete</b>	✓	✓	
<b>8. Movement joints</b>	-		
<b>9. Appraisal and testing of structures and components during construction</b>	-		

※3 Different of stress-strain curve of concrete

※4 un-clacked section (=Elastic) theory is used only in the crack width check.

## 4. 今後の設計ソフトの方向性

このように日本で経験された土木設計、構造物の設計におけるソフトウェアの対応は、中国においてもその経験則を選別して生かせる部分が大いに存在する。方や今後予測される技術革新への対応も早い段階での取り組みが重要である。本講では、これらの変遷の中で学ぶべきソフトウェア技術や今後あるべき設計ソフトウェアの方向性を具体的なソフトウェア・プロダクトの紹介を通じて提案したい。



### 1) 今後のテーマ <中国 & 日本>

日本国内で20数年間にわたり、「土木設計者のためのアプリケーション開発」を専門にしてパッケージソフトソフトウェア開発を推進してきた。時々の変化はあったが、土木設計者のニーズが最も高い、実行示方書にできるだけ完全に準拠したソフトウェアの開発に最も大きな開発労力を注いできたと言える。日本のバブル不況を機にこれらのニーズや開発の方向が大きく転換するかに思われたが、設計者のニーズがこれを大きく変えるには至っていないと感じられた。

開発の方向については、1999年フォーラムエイトが主催したExhibition1999の講演の中で現フォーラムエイト会長和田忠治は、今後の設計ソフトウェアの開発方針として以下のソフトウェアをテーマに開発を進めることを発表し、ソフトウェア開発投資の方向を大きく変換することとした。

#### ■Exhibition1999で発表されたFORUM8の開発方向

- ・統合ソフトウェアの開発
- ・景観設計支援ソフトウェアの開発
- ・高度解析ソフトウェアの開発

(Tokyo/Osaka/Nagoya、November 1999)



日本国内では、既に不況感の高まりに加えて、建設投資の縮小が進んで、これまでの土木構造物の大量生産時代が終わりを告げようとしていた。土木設計技術者は淘汰され、上級エンジニアがソフトウェアや情報技術を使いこなして、構造物を一人で一貫して設計する、あるいは、様々な工法、材料等を比較検討して経済性の高い合理的な構造物を効率よく設計する事が予想された。これには、統合ソフトウェアの利用、統合環境でのソフトウェア利用が欠かせないと考えられた。フォーラムエイトが開発、提供していたソフトウェアの大半を「計算-CAD」、「計算相互」の統合対象としてインターフェースを一体化した完全に一つのソフトウェアとしての提供を行った。具体的には、計算-CADを統合した橋脚、橋台、擁壁、Boxカルバート、仮設構造物や基礎では、各種基礎形式サポートソフトの統合、各種解析ソフトと断面計算ソフトの統合などほとんどの製品に及び、統合の結果としては、高メンテナンス性から高品質、低価格で提供されることとなった。

次に数は多くないが質の良い土木事業を推進するのに必要な景観検討を支援することを目的としたソフトウェアの開発を目指した。また、非線形解析、動的解析など高度解析をテーマに一般の設計実務者が利用できるパッケージソフトとして、開発を進めることとなった。これらをテーマとしたソフトウェア製品は、2000年5月に「UC-win/Road」、2000年12月「UC-win/COM3(Fiber)」、2002年11月「UC-win/FRAME(3D)」が発表されている。

中国における建設事業は、日本の高度成長に勝るとも劣らぬ成長を見せているが、これをバックアップする設計技術者を支援する設計計算ソフトウェアは、日本で蓄積されてきた知見をベースに開発されたソフトウェアが十分機能し、低コスト、高品質で利用できる可能性があることを至言したい。

加えて、今後中国における建設、土木における様々な問題点は、既に日本国内で生じたことから、それを学ぶことでかなりの部分を予測することができるものではないか。その結果として、これらの問題を回避するあるいは対処することを、情報技術を用いて可能なものは、何か知ることができるのではないかと考える。そのソリューションを例示するために、今後のテーマとして次の3つを土木設計支援のために実現すべきテーマとして取り上げたい。これらの実現すべきテーマは、ソフトウェアとこれを活用したエンジニアリングサービスについても具体的に言及する。

- － 景観検討、環境配慮、合意形成を支援する
- － 3次元技術をベースにした高精度設計を支援する
- － 国際化・標準化のために最先端IT技術を支援する

## 2)テーマを実現する3次元設計をベースにしたソフトウェア事例

- － 景観検討、環境配慮、合意形成を支援する

公共事業、道路事業等の建設事業において、景観検討、環境影響は、従来にもまして重要なテーマとなっており、社会問題として、これらの建設事業が取り上げられるケースが日本では、枚挙にいとまがないのが、現状である。景観、環境をベースとした関係者の合意形成には、様々な取り組みがあるが、行政、施工者、住民といった関係者が共通的に理解して利用できる言語的なツールが必要である。このツールは、一つのもので解決できるわけではないが、ソフトウェアツールとして提供する場合、3次元をベースにした誰もが理解しやすいものであることが求められると考える。

フォーラムエイトは、これらのソリューションとして現在日本国内で提供しているもの、そして今後もこれらを拡大、発展させていくことを紹介したい。



### <パッケージソフトウェア>

#### 「UC-win/Road」…3次元リアルタイム・バーチャルリアリティ・ソフトウェア

バーチャル・リアリティ（VR）を簡単な PC 操作で作成、利用できるパッケージソフトウェア。道路事業等の公共事業、民間開発など建設事業を中心とした3次元空間の作成、表現において、卓越したソフトウェア機能を有する。動きのある3次元空間がリアルタイムで表現でき、様々なプレゼンテーション、設計協議等の合意形成を支援する。2000年5月リリース以降、景観の検討、環境・安全に配慮した設計・施工、比較案の検討、技術提案などに活用されている。

最近の新機能としては、

- ・3次元樹木の作成、葉の揺れなどの表現（2003年5月）
- ・AVI形式等ムービー作成（2003年5月）
- ・3次元交通流自動生成、3次元交通モデル自動制御（2004年5月）
- ・3次元人間モデルの作成、編集と歩行など各種動作設定（2004年5月）
- ・スクリプトによる自動実行などプレゼンテーション支援機能（2004年5月）
- ・テクスチャ自動切り替えによる夜間表現・フェイクライト機能（2004年5月）

今後の予定と開発テーマとして、

- ・樹種等設定に基づく森林作成機能（2004年8月予定）
- ・地形の3次元編集機能強化（2004年8月予定）





- ・UC-win/Road for「.NET」による 64bit 対応(2005 年前半予定)
- ・各種交通制御をサポートした3次元交通流シミュレーション(2005 年前半予定)
- ・災害3次元モデリング、迂回シミュレーション、各種環境シミュレーション(未定)

などが挙げられる。

### <エンジニアリングサービス>

#### 「UC-win/Road サポートシステム」…バーチャルリアリティ(VR)データ・サービス

バーチャル・リアリティー(VR)作成サービスを中心としたエンジニアリングサービス全般を提供。日本国内における国土交通省所管事業、自治体等各種団体、民間企業との建設事業等に数多くの実績を有する。UC-win/Road で作成された VR データのコンテストを毎年開催し、2002 年は、国土交通省多治見工事事務所(現多治見砂防・国道事務所)の東海環状自動車道 VR データがグランプリを受賞。2003 年は、日本道路公団厚木工事事務所の海老名北ジャンクションVRデータがグランプリを受賞した。

発注官庁での活用が多数を占めるが、民間開発では、富士スピードウェイの F1 コースへの改修(大成建設(株)、富士スピードウェイ(株)、2003 年コンテスト優秀賞)、民間企業における新工法説明用の施工シミュレーションなどでも活用されている。また、まちづくり協議会や NPO などの住民側から提案、計画案づくりにおける活用も増加する傾向にある。

今後のテーマとしては、CAD 図面作成などと同様、技術情報等の移転により中国企業によるデータ作成支援サービスも可能であり、これにより、日本国内のみならず、中国においても今後展開可能である。韓国語版をベースにしたプロジェクトへの適用は、韓国道路公社(KHC)、韓国農業基盤公社(KARICO)で実績があるが、国際的なプロジェクトへの適用を拡大することが今後のテーマである。

## 一 3次元技術をベースにした高精度設計を支援する

3次元をベースとした技術は、3次元による表現ばかりではないのは、言うまでもないが、土木設計実務の分野では、PC のパフォーマンスやアプリケーションソフトウェアの開発が途上であり、日本国内でも未だ一般的にはなっていない。しかしながら、3次元で精度良く解析することが、経済的、合理的な設計につながることは、明白である。

ここでは、3次元をベースとしたグラフィカルな表示と3次元解析技術を適用したアプリケーションとその普及のためにエンジニアリングサービスの取り組みを紹介する。

### <パッケージソフトウェア>

#### 「UC-win/FRAME(3D)」…3次元動的・非線形解析ソフトウェア

3次元骨組の静的動的、非線形解析プログラム。動的／静的荷重による幾何学的非線形／材料非線形解析が行え、先進のインターフェースが一般的な線形解析、弾性解析にも利用できる。各種構造物に対し広範囲に適用、さまざまな構造、形状、材料をサポート。各種非線形ばね要素、ファイバーモデルによる非線形要素や地盤ばね要素が適用できる。3次元解析モデルは、UC-win/Road など3次元モデルとして利用可能。

最近の新機能としては、

- ・活荷重対応(影響線解析、L荷重+T荷重の比較検討、複数領域の同時載荷)(2004 年 3 月)
- ・PC鋼材、有効プレストレスカの入力(2004 年 3 月)
- ・モデルジェネレータ強化(アーチ橋・トラス橋・橋脚・杭モデルを追加)(2004 年 3 月)

今後の予定と開発テーマとして、

- ・M-φモデル[Takedaモデル]によるRC部材の非線形解析(2004 年 8 月予定)
- ・3波平均など連続平均計算、COM3 オプション(2004 年 8 月予定)
- ・PC 部材の非線形解析(2004 年内予定)
- ・プレート部材(線形、非線形)(2004 年内予定)
- ・COM3 材料非線形プレート部材(2004 年内予定)

などが挙げられる。

「UC-1 地盤解析シリーズ」…地盤解析における動的解析、3次元解析ソフトウェア

地盤解析における高度解析ソフトウェアシリーズとして 2004 年 3 月よりリリースを開始したソフトウェアパッケージ。

- ・地盤の動的有効応力解析 (UWLC)、有限要素法 (FEM) を用いた地盤の動的変形解析プログラム。
- ・3次元地すべり斜面安定解析 (LEM)、地形形状やすべり面を三次元形状で再現した安定解析プログラム。  
対策工として杭工の設計を行える。

今後の予定と開発テーマとして、

- ・3次元浸透流解析 (2004 年 8 月予定)
- ・3次元弾塑性地盤解析 (予定)

などが挙げられる。

<エンジニアリングサービス>

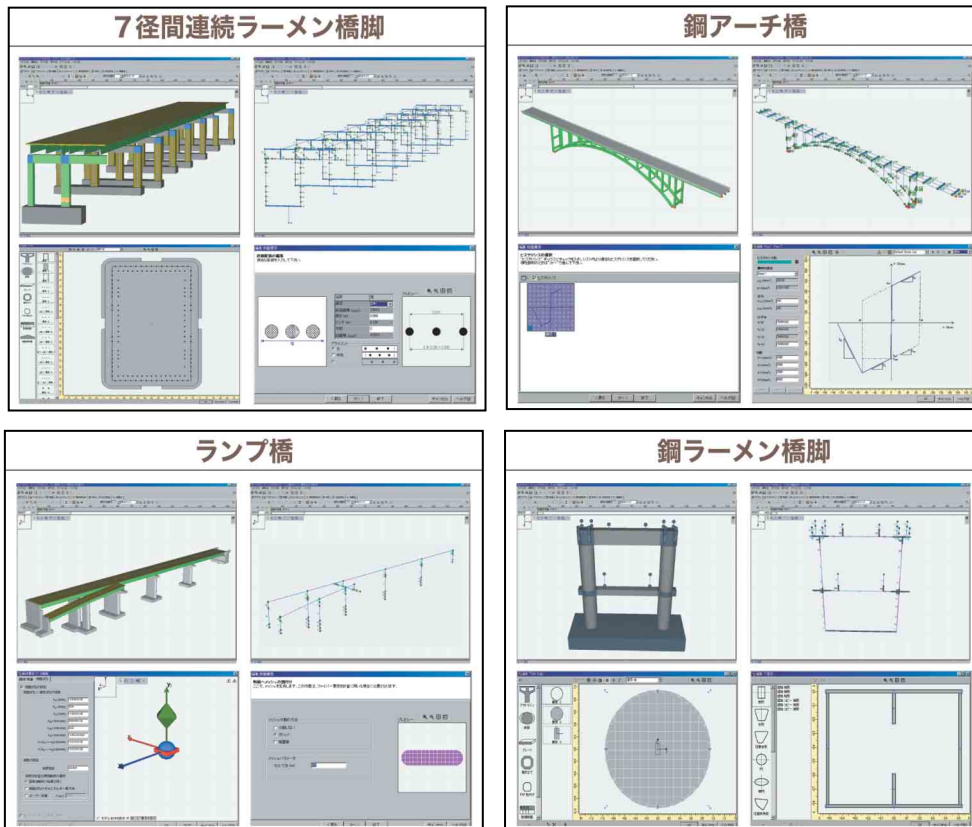
「UC-win/FRAME(3D)解析支援サービス」…各種構造物の解析モデル化とデータ作成支援サービス

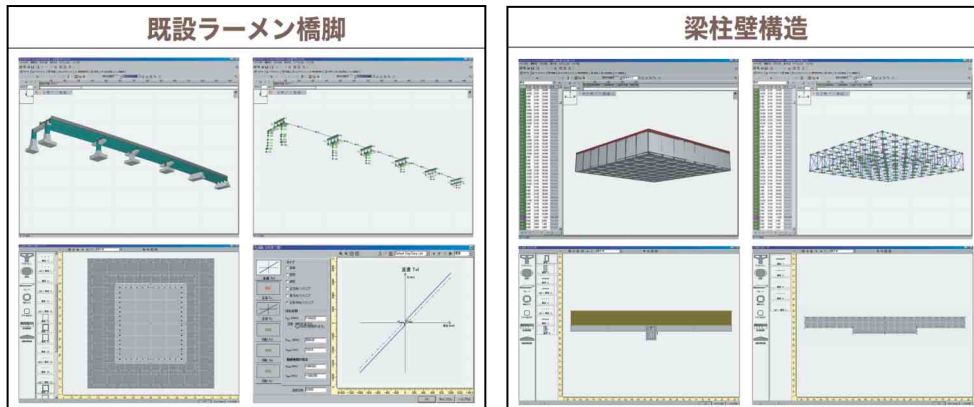
本解析支援サービスは、橋梁等各種構造物の3次元モデル化を支援する技術サービスで、「道路橋示方書 耐震設計編」における動的照査法により設計する初期モデル作成などをサポートする。要求性能を満足する新しい橋梁形式の提案や断面設計を行うユーザを支援する技術サービスである。

解析サービス例として以下のモデルを紹介する。

- 7径間連続ラーメン橋脚 / 鋼アーチ橋
- ランプ橋 / 鋼ラーメン橋脚
- ラーメン橋脚補強モデル / 梁柱構造物

今後の予定としては、地盤解析ソフトウェアシリーズを利用した「地盤解析支援サービス」の提供を検討中である。

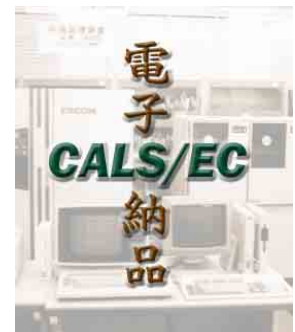




## 一 国際化・標準化のために最先端IT技術を支援する

建設分野における情報技術が国際化、標準化していくためには、最先端のIT技術を活用することにより、この先端技術を支援するソリューションとして提供するものは、その先進技術を一般に先駆けて組み入れることが必要である。

ここでは、先のソリューションでも「.NET」対応や 64bit 化などもこの範疇に属する開発であると考えているが、ここでは、インターネットの最新技術の活用を常に模索しているソフトウェアの事例を紹介する。



### <パッケージソフトウェア>

「グループウェア GSS ベースシステム」…グループウェア基本システムソフトウェア

スケジュール管理、行き先案内、各種掲示板、資料管理、Web メール、その他アクセサリ等をサポートしたグループウェア。SQL サーバシステムに加え、リナックス対応版「GSS for Linux」を 2004 年 リリースした。サーバ、データベースソフトにオープンソースが利用でき、低価格のシステムが構築できる。

OS : Red Hat Linux9

WEB サーバー : Apache (オープンソース)

開発言語 : PHP (オープンソース)

HTML テンプレート : Smarty (オープンソース)

データベース : PostgreSQL (オープンソース)

「電子納品支援ツール(Web 対応)」

土木設計、工事などの電子納品基準に基づき作成された電子納品成果を管理するグループウェア。

Web サーバ(IIS)に導入することで Web での電子納品成果の登録、閲覧、検索、版管理が行える。ファイル更新や保管場所管理をサポートし、受注者に限らず、発注者、協力会社間でのデータ共有を実現。

### <エンジニアリングサービス>

「グループウェアサポートシステム GSS」…グループウェアベースシステムのカスタマイズ・受託開発サービス

#### ■カスタマイズシステム/受託開発例

- ・電子納品支援システム
- ・問合せ支援保守管理システム(ソフトウェアハウス向け)
- ・バグトラッキングシステム BTS(ソフトウェアハウス向け)

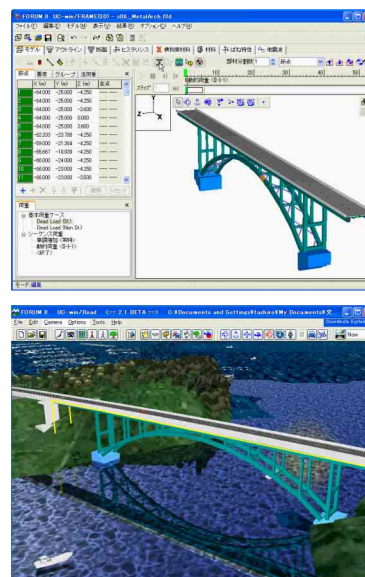
### 3) 今後あるべき設計ソフト

日本の土木設計実務は、設計計算、計算書作成、図面作成のような業務分類の元、分業が古くから行われ、その業務の専門家や企業が育成され、成長してきた。先にも述べたとおり、優れた技術者が一貫して設計に携わることで高品質で経済的な土木設計、構造物の設計ができる状況が情報技術の活用、とりわけデータ共有や統合ソフトウェアの利用でその可能性が広がっている。しかしながら、設計エンジニアは、景観検討、環境への配慮、合意形成支援などの業務も併せて求められることになり、技術提案、プロポーザル等の営業支援活動までも必要になってきている。

設計ソフトとして「計算—CAD」、「計算—計算」統合による、統合ソフトウェアの開発が進んだが、さらにこれを進めてソフトウェア間において双方向データ交換がシームレスに行える「インタラクティブなソフトウェア」開発を進める必要がある。

例えば、橋梁形式あるいは橋脚形状を3次元非線形解析で精度良く解析して決定し、これを地形、周辺地物を表現した3次元VR空間上において景観検討を行うことは、現在でも可能であるが、ある景観デザイナーが3次元空間で検討した結果として作成した3DS形式のモデルを3次元解析で照査することは、現在のところ、シームレスにできるとは言えない。このように企画・計画のフェイズと詳細設計フェイズにおいて容易にデータが交換できるソフトウェアが必要である。勿論、一つのソフトウェアでこれを実現させることが優先されるが、XMLでの連携、データ交換プログラムの開発が選択肢としてあげられる。

次に現在、ソフトウェアパッケージだけでは、設計全体を支援できないため、エンジニアリングサービスの提供でカバーすることを高度解析、VR データ作成などで行っているが、これは、様々なソフトウェアや情報技術等を活用して、多くのプロセスを経て実現できるからである。設計業界においても他の産業界と同様にコンカレントエンジニアリングへの取り組みが高まってきている。計画部門、景観デザイン部門、構造物設計部門、営業部門などにおいて、設計業務という製品開発を複数の部門において、同時に並行で進行させることが指向されてきている。設計ソフトウェアも「コンカレントエンジニアリングを支援するソフトウェア」を指向して開発すべきであると考えられる。



以上

謝辞：

関係企業、ユーザ／関係者の皆様

後藤 茂夫氏（（株）フォーラムエイト技術顧問、佐賀大学名誉教授）

和田 忠治氏（（株）フォーラムエイト会長）

馬場先勝弘氏（（株）フォーラムエイト技術顧問）

ブレント フレミング氏（（株）フォーラムエイト開発担当取締役）