

構造解析システムの歩み

亀岡 裕行*

1. はじめに

構造解析システムは、各分野において計算力学とコンピュータの発展とともに使用され、適用範囲が非常に拡大されてきた。本論説では、構造解析システムと密接な関係である、計算力学の発展（とくに有限要素法プログラム開発の変遷）、コンピュータ環境の変化について論じ、かつ各分野で適用されている構造解析システムを紹介することにより、利用者のニーズ等による構造解析技術の発展と歴史、そして今後の解析システムの展望について述べることにより、「構造解析システムの歩み」を理解するうえの一助としたい。

2. 計算力学の発展

計算力学 (Computational Mechanics) は、狭義的には連続体の数値解析法 (有限要素法, 有限差分法, 境界要素法など: 各種数値解析法の特徴は表-1参照) の総称である。より広義的には材料力学, 熱力学, 流体力学, 構造力学などにおいて、計算機技術が応用される分野すべてと解釈することができる¹⁾。また、最近の工学における発展の多くの部分は、計算機技術 (ハード, ソフトの両方) の関連性が非常に大きく、とくにコンピュータによるシミュレーション技術の発展が極めて重要な役割を果たしており、計算力学はそのための道具と言える。数年前にはほとんど不可能であったいくつかのシミュレーションが、今や可能となってきた。したがって、コンピュータが進歩し続ける限り、計算力学も進歩するという状況が今後も続くことが予想される。

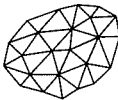
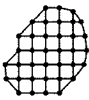

この40年間ほどの材料力学や構造力学関連分野において、最も大きな技術革新を挙げるとすれば、それは疑いもなく有限要素法 (FEM: Finite Element Method) の登場である。この手法はコンピュータの利用を前提とした、各種構造物の力学的挙動を解析する数値解析の方法である。その手法としての汎用性と実際問題の適用性の容易さから、コンピュータの発展とともに近年急速な普及が見られた。



* Hiroyuki KAMEOKA

(株)CRC総合研究所
建設システム事業部 建設技術部長

表-1 各種数値解析法の特徴

分類	領域分割法		境界分割法
原理	領域内で支配方程式を満足するように近似方程式を作る (境界条件は満足している)		境界上で境界条件を満足するように近似方程式を作る (支配方程式は満足している)
離散化の方法	領域全体を分割		境界を分割
解析方法	有限要素法 (FEM)	有限差分法 (FDM)	境界要素法 (BEM)
基礎となる原理・式	変分原理・ガラーキン法	テイラー展開の差分式	グリーンの定理
分割法			
未知数	節点変位	格子点の変位	境界上の節点変位および表面力
計算時間およびメモリー容量	節点数の関数	格子点数の関数	要素数の関数
計算精度	良い	悪い	良い
プログラミング	良い	容易	普通
入力データ作成	複雑だが自動化は可能	普通	容易

有限要素法の基本的な考え方を以下に要約する²⁾。

- ① 対象物を分割し、簡単な性状の要素に分割する。
- ② 要素の力学的応答の性質を調べる。
- ③ 要素の応答を結合し、対象物の全構造の応答を調べる。

この操作を、マトリックス代数を用いてコンピュータにより合理的かつ組織的に行うところがこの方法の特徴である。当然、有限要素法の理論的基礎は確立されており、今やそれをいかに利用するかの時代にきている。

この方法が計算力学の他の方法と比較して有利と思われる点を以下に挙げる。

- ① 構造の形状、荷重条件、拘束条件が任意に扱える。
- ② 不均質体、異方性体等の問題が容易に扱える。
- ③ 動的問題 (固有値, 応答問題等) および安定問題が扱える。
- ④ 非線形問題 (材料, 不連続性, 大変形) が扱いやすい。
- ⑤ 構造力学以外の熱伝導, 流体力学, 電磁気学, 化学反応問題等も解析可能である。

以上のように有限要素法の適用範囲は広く、そのために各種のシステムが開発され、非常に多くの問題を解決してきた。

文献³⁾には1990年時における汎用構造解析システム (MSC / NASTRAN, FINAS, ANSYS, ADINA, SAP, MARC, ABAQUS, ASKA, DYNA3D, PISCES) について、以下の解法

- ① 連立方程式の解法，運動方程式の解法
- ② 静的応力解析の解析種類（非弾性，大変形，大ひずみ，線形座屈，非線形座屈，非軸対称座屈）
- ③ 動的応答解析（固有値解析，モーダル応答解析，周波数応答解析，線形時刻歴応答解析，非線形時刻歴応答解析，衝撃応答解析）
- ④ 熱伝導解析，流体構造連成解析，最適リナンバー機能，アワーグラスコントロール機能，ユーザーサブルーチン機能

と評価（使いやすさ，コストパフォーマンス，利用支援に対する評価：可能，一部可能，不可能，良い，普通，劣る）が示されている。この時期はさまざまな分野で，各種のシミュレーション解析が必要とされるため，一つの構造解析システムにいろいろな機能が整備拡張され，競争が激しかった時期である。また，多くの汎用構造解析システムが市販され，各研究機関で使用されることにより，構造解析システムの重要性が認知されてきた。ただ汎用とはいっても，やはりそれぞれに得意，不得意分野があり，利用者はそのことを認識しつつ，使用するシステムを選択してきた経緯もある。

3. 構造解析システムとコンピュータの環境の変化

有限要素法の応用研究が活発化し，一般的な構造解析への適用が増加しだしたのは1960年代の後半であり，IBM社の360シリーズやCDC社の6600/7600などの大型コンピュータが貢献していた時期である。1970年代初期には，ASKAという構造解析システムが開発され，ヨーロッパを中心に普及していた。また，1975年頃から現在でもよく利用されているANSYS，NASTRAN，MARCなどの構造解析システムが開発され，アメリカを中心に普及されてきた。これらの汎用構造解析システムは，大型コンピュータで開発・稼動されてきたものであり，当時のコンピュータのメモリ容量が非常に少なかったため，大規模な問題をいかに効率的によく解くかという命題に対して挑戦していた時期である。1980年代に入ると，高速演算プロセッサを有するスーパーコンピュータが開発され，汎用構造解析システムも大容量のメモリと高速演算性能という命題と合致したため，多くの構造解析システムが新たに開発され利用されてきた。

1980年代後半に入ると，通信技術の進歩と高性能EWS，そして高性能PCの出現があったため，システム開発と利用

形態がこれまでとは大きく変わってきた。1990年頃にUNIX OSが普及したときは，大型コンピュータを中心に置き，周辺にはEWSやPCを配置したネットワークが構築され，さらに，EWSを個人的に利用できる環境が整備され，かつメニュー画面を用いてシステムを作動させる手法が普及してきたため，システムの開発思想は大幅に変わってきた。表-2にコンピュータ種別の比較を示す。

またソルバ部の開発だけでなく，GUI（Graphical User Interface）による入出力の効率化も多くの開発投資がなされてきた。今や高速PCの普及に伴い，ほとんどの構造解析システムは，プリプロセッサ，ソルバ，ポストプロセッサをPC上においてメニュー方式で行い，マニュアルを使わない環境のもとで簡単に行えるようなシステムとなってきている。

図-1に解析モデルの自動作成方法の例を示す。この例では，モデル作成のために用意された複数のモデル作成用テンプレートをGUI操作画面上に表示し選択しながら全体モデルを構築させ，また断面諸元の定義も複数の断面諸元作成用テンプレートをGUI操作画面上で表示し選択することにより，断面形状に基づいた断面係数を自動的に計算し，以降の構造解析で使用できる特徴もっている。

ポストプロセッサも視覚化のための工夫が非常によくなされてきて，アニメーションによる構造物の挙動や，最近ではヴァーチャルリアリティ（VR）の適用も試みられている。これらは解析結果の飛躍的なプレゼンテーション効果の発揮に繋がっている。

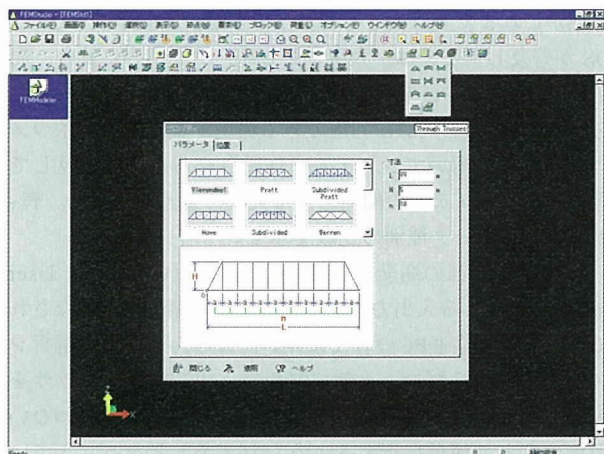
4. 各分野での構造解析システム

これまで開発そして普及してきた構造解析システムの多くは2章で述べたように有限要素法をもととしている（骨組モデルも有限要素法に包含する）。そして適用範囲が広いため，各分野（機械，建築，原子力，土木等）で利用されている。汎用構造解析システムの多くは市販され，さまざまな分野での計算力学に適用されているが，汎用構造解析システムにも一長一短があり，また専門分野での非常に困難な問題に取り組むことも多々あるため，各研究機関や各会社で独自に開発されてきている構造解析システムも多くある。また使用が限定されるなど，市販されていないシステムも多くあることも事実である。

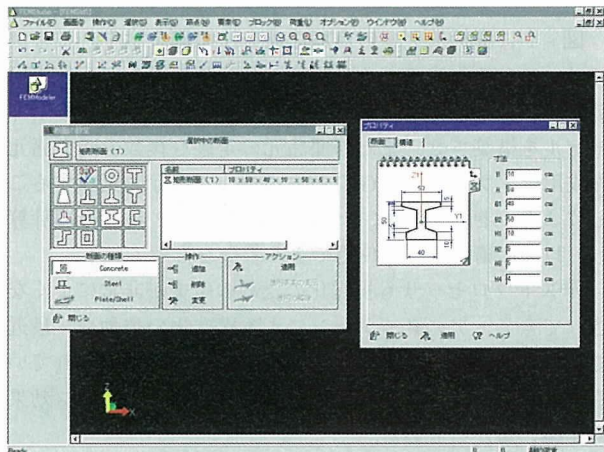
この章では，それらを網羅することは困難であるもの

表-2 コンピュータ種別の比較

	大型計算機	EWS	PC
処理速度	大	中～大	小～大
設置環境	計算センター	オフィス	個人の机
管理者	必ず必要	いた方がよい	不要
メモリ	中～大	中～大	小～中
価格	非常に高価（数千万～億円）	比較的高価（数百万円～）	安価（10万円～）
使いやすさ	JCLを覚える必要がある	UNIXの知識が必要	すぐに使える
周辺機器	MT，ペンプロッタなど	CD-ROM，DAT，FD，MOなど	CD-ROM，FD，MOなど
使用言語	FORTRAN	C，C++，FORTRAN	C，C++，FORTRAN
OS	MVS，VMSなど	UNIX	Windows 95/98/2000，NT
インターネット	不適	やや不適（新しいものは適）	適



(a) モデル作成用テンプレートの応用



(b) 断面諸元作成用テンプレートの応用

図-1 解析モデルの自動作成方法

各分野で利用されている構造解析システムを紹介する。どこに特徴があるのか、利用者のニーズはどこにあるのかを理解するうえでの参考としたい。ただ調査された時点での情報であるため、とくに機能面での改良が多くなされている可能性があるため、最新の情報は取扱い会社に問合せする必要がある。

4.1 機械分野

(社)日本機械学会が調査(1995年7月)した構造解析システムとして、31のシステム(ADINA, ANSYS, ASTENA MACS, ASTENA RATCHENT, Asteo-Seepage-3D, ATLAS/SOLVER, C-Mold, COMPOSIC, COSMOS/M, FENIX, FIDAP, FINAS, I-DEAS, I/FEM, JOINT-3D, LESTAR, LUSAS, MARC, Mechanica Structure, MSC/ABAQUS, MSC/DYTRAN, MSC/EMAS, MSC/NASTRAN, MSC/NASTRAN for Windows, Multi-Slosh, NASRAN, NISA-II, OPTISHAPE, PAM-CRASH, Quick Therm, 膜厚案内人)が以下の調査項目に従って調査され、比較表が記載されている⁴⁾。

- ① 開発者、国内取扱い会社
- ② 開発歴、開発言語
- ③ 可能な解析の種類
- ④ 連立一次方程式解法
- ⑤ 固有値解法

- ⑥ 時間積分法
- ⑦ プリ・ポストとの接続
- ⑧ 対応機種
- ⑨ その他の機能

機械分野では、通常の構造力学以外にも材料力学にかなりの力点が置かれている。したがって、材料非線形問題、破壊力学問題、加工解析、複合材料問題等に適用可能なシステムが多い。また最近では、最適設計(構造形態、材料形態)に対するニーズも高くなってきており、その機能を保有するシステムも多くなってきている。

さらに、この分野では最近オブジェクト指向法によるソフトウェア開発が進んでいる。この方法はコンポーネントアプリケーションの設計・開発、メンテナンス効率を向上させる開発技法である。

4.2 建築分野

1960年代前半に100mを超す高層建築が建設されるようになり、大型コンピュータを用いた構造解析技術の進歩が建築構造物の設計を支えてきた。通常、建築構造物は骨組モデルで置換される。古くは骨組解析に固定モーメント法、武藤式D値法などが用いられ、骨組を平面骨組に分解して解くことが多かった⁵⁾。現在でも建物を立体骨組として解析することは少ない。しかし、合理性の追求、材料の有効利用、さらに応力再配分のために生じる塑性変形を極力減らすための高度な解析技術と施工技術が要求されてきている。耐震設計においては、極めてまれに起こるレベルの地震動に対して骨組の塑性化を積極的に取り入れる方向にある。そこで、構造物と地盤の連成問題や構造物の最終崩壊のメカニズム解明などに、数々の構造解析システムの利用がなされてきた。

構造物と地盤の連成問題の例として、(社)日本建築学会が調査した(1995年8月)、日本で入手可能な建物と地盤の動的相互作用プログラム(一部のプログラムは地盤のみの対応)として13のシステム(SHAKE, YUSAYUSA-2, FLUSH, SuperFLUSH / 2D, SuperFLUSH / 3DS, SuperALUSH, ADMIT-K, SIGNAS, DINAS, CERA2D, CLASSI / ASD, SRAB2D, NANSSI / 2D)が以下の調査項目に従って調査され、比較表が記載されている⁶⁾。

- ① 機能概略
- ② 開発者(開発元)
- ③ 解析手法(離散化手法、解析次元、周波数/時間、直接/サブストラクチャー)
- ④ 解析機能(基礎埋込み、成層地盤、非線形)
- ⑤ 地震波(実体波、斜め入射、表面波、点加振)
- ⑥ 境界処理
- ⑦ 要素タイプ
- ⑧ プリ・ポスト処理
- ⑨ 作動機器
- ⑩ マニュアル、参考文献
- ⑪ その他(販売元、価格)

最近の建築分野での構造設計に使用する構造解析システムは、構造細目や材料特性を忠実に再現するため、市販の汎用構造システムを使わず、各会社独自で立体骨組弾塑性

解析（静的、動的）システムを開発してきている。柱、梁、ブレース、壁等の部材と、構造種別（S、RC、SRC、CFT等）の材料非線形性を骨組要素の非線形特性としてよりよく近似的に表現するかたちとなっている。

4.3 原子力分野

（財）原子力工学試験センター（現（財）原子力発電技術機構）原子力安全解析所では、1980年度より国が安全審査を実施する際に行う安全解析計算、原子力発電施設の安全性を実証するための解析計算、これら解析に使用する安全解析コード（SAN：Seismic Analysis Nuclear シリーズ）の改良整備事業を実施している。（社）日本電気協会では、それら安全解析コードの概要（目的と特徴）を紹介している⁷⁾。ただし、これらのコードは国が使用するものであるため非公開となっている。

- ① SANWAV（地震波作成・解析コード）
- ② SANDEL, SANDEP（地震記録データベース）
- ③ SANFALT（断層モデルによる地震波解析コード）
- ④ SANSHL（軸対称構造解析コード）
- ⑤ SANSTR（一般構造解析コード）
- ⑥ SANREF（建屋復元力解析コード）
- ⑦ SANSSI（地盤－建屋相互作用解析コード）
- ⑧ SANLUM（質点系モデル解析コード）
- ⑨ SANRAI（地盤複素剛性解析コード）
- ⑩ SANSOL（層構造地盤の相互作用解析コード）
- ⑪ SANGRS（地盤安定解析コード）
- ⑫ SANPIP（配管系解析コード）
- ⑬ SANNAMI（津波解析コード）
- ⑭ SANNOS（2次元非線形地盤－建屋相互作用解析コード）
- ⑮ SANTRI（3次元線形地盤－建屋相互作用解析コード）
- ⑯ SANSEC（建屋部材断面算定コード）

以上のコードは、種々の試験（動的相互作用試験、基礎浮上り試験、埋込み震動効果試験、動的復元力試験等）を通して得られた知見を改良・整備に反映してきている。

また（財）原子力発電技術機構では、1991年に実施した弾塑性試験（原子炉建屋耐震壁が地震動を受けた場合の終局に至るまでの動的性状を明らかにするための試験）を公開し、耐震壁国際標準問題（SSWISP：Seismic Shear Wall International Standard Problem）として世界各国の技術者・研究者に既存および新規の構造解析システムにより試験のシミュレーション解析を行ってもらい、その結果を比較することにより耐震壁の解析技術、設計技術の向上を図っている。ここでは以下の4つのタイプで解析が実施されており、試験結果との比較、評価が行われている⁸⁾。

- ① FEM STATIC MODELS（MONOTONIC：15件，CYCLIC：2件）
- ② FEM DYNAMIC MODELS（12件）
- ③ SIMPLIFIED MODELS（STATIC：4件，DYNAMIC：6件）
- ④ LUMPED MASS DYNAMIC MODELS（6件）

ここでも汎用構造解析システム（SOLVIA, ABAQUS, ADINA, DIANA）も使用されているが、各研究機関独自で

開発されたシステムが多く使用されている。また、さまざまな材料非線形特性が用いられ、試験結果との整合性が図られており、比較をするうえで興味深い。

4.4 建築・土木コンクリート分野

建築・土木コンクリート分野でも、またさまざまなシステムが開発、利用されているが、知る範囲での構造解析システムの比較表が記載されている文献を紹介する。

(1) コンクリート構造物の耐力や変形性能を評価する弾塑性解析可能な構造解析システム⁹⁾

鉄筋コンクリート構造物の弾塑性解析の歴史、鉄筋コンクリート構造物のモデル化、非線形解析上での問題点、RC非線形FEM解析の応用例、そして将来展望などについて詳細に述べられている。実務設計者のRC非線形解析の応用に関する現状では、約9割にも上る設計事例に自社開発プログラムが利用されている。非線形FEM解析を用いる問題点においても、実務設計者の声としていろいろな課題（解析システムの信頼性、解析モデルの設定法、コスト・期間、その他）が提示されている。さらに市販されているFEMによる汎用構造解析システム（ABAQUS, ADINA, DIANA, MARC）を使用して、鉄筋コンクリートの代表構成要素である板曲げ、耐震壁、および梁の問題を解析し、現状の汎用ソフトの適用性や留意事項が述べられている。将来展望としては、材料構成則の統一化、複雑な構造物に適用可能な汎用コードの発展性、プリ/ポスト処理の充実による解析担当者の省力化について述べられており、今後の構造解析システムの整備に参考となる意見が多い。

(2) コンクリート構造物の破壊現象に適用する解析ツール¹⁰⁾

（社）日本コンクリート工学協会では、1988年から2年にわたってコンクリートの破壊力学に関する研究の現状についてまとめた。1991年からスタートした委員会では、コンクリート構造物の耐荷力やひび割れ伸展に関する各種の解析手法やモデルの有効性と問題点を明らかにするために、以下の4つのテーマについて検討を行い、共通解析や実験を実施してきた。

- 材料の性能評価への破壊力学の応用
- 破壊力学の応用のための数値解析
- 構造設計への破壊力学の応用
- 強度と破壊性状への寸法効果

ここでは、自主開発や市販されている汎用構造解析システム（NFAP, ADINA, DIANA, Total-RC等）を使用して、コンクリートの破壊実験解析（無筋コンクリート梁の曲げ破壊、アンカーボルトの引抜き破壊、ディーブビームの破壊、せん断補強筋のないRC梁のせん断破壊）を行い、以下の内容を明らかにするため、解析に使用した各解析システムの解析手法の概要を相互の比較が容易となるようにまとめられている。

- 各解析手法やモデルの特徴、有効性
- ひび割れの進展や耐力・変形性状に及ぼす各種要因の影響
- 耐力や破壊性状の寸法依存性

4.5 橋梁の耐震分野

（財）土木研究センターでは、1996年度より「道路橋示方書」

の改訂(1996年11月)に基づく耐震設計を有効に取り込むためのソフトウェア技術についての研究を行っている¹¹⁾。この研究は、耐震設計のための実務的かつ効率的な設計ソフトウェアの開発を促進し、これを有効に活用できるようにするために必要とされる要件やノウハウを整理することを目的としている。

ここで、構造物の非線形性の効果を考慮した動的解析の耐震設計ソフトウェアに関する研究報告として、鉄筋コンクリート橋脚、鋼製橋脚、基礎、全体構造系などに対する地震時保有水平耐力法や動的解析法の検討、各種パラメータの影響などについて評価しまとめている。耐震計算では、自主開発や市販されている動的解析システムを使用してさまざまなベンチマーク解析や各種パラメータによる感度解析が実施され、数値解析上の考え方やモデル化について整理し、構造部材、構造全体系に対する非線形モデルや静的・動的解析手法に関する検討が行われている。

また並行して、将来の耐震設計ソフトウェアに関する研究開発の方向性に関する調査研究も実施され、利用者の立場から使いやすい要件を詳細に抽出(モデルデータの作成方法、入出力様式、データチェック方法、ビジュアル化、データベース化、ソフトウェアの連動化など)され、今後のソフトウェア整備の方向性が示唆されている。

5. 今後の解析システムの展望

計算力学の技術革新とコンピュータの進歩は今後もかなりのスピードで実現されることが予想される。またその2つの相乗効果により、さまざまな分野で構造解析システムが利用されることは想像に難くない。さらにIT革命の波も当然この分野に押し寄せることもあり、開発する側や利用する立場にとっても多くの変革が起こり得る。

構造解析システムの将来像としての一つの例として、図-2に示すような地震発生から構造物の損傷までを扱うことのできる地震防災シミュレーションシステムがある。この例では、何十キロにも及ぶ地層をモデル化し、プレート層や活断層での震源破壊から伝播特性を評価し、かつ堆積層の不整形性や非線形性を考慮に入れたかたちで、いわば地震工学で重要な震源特性、伝播特性、サイト特性のすべてを評価した構造物の損傷破壊解析を行うものである。当然モデルの解析自由度は1億点をも超えることが予想される。

最近では、大次元解析に有効な手法と言われているボクセル型FEM解析も実用化(PC一つで1000万自由度の線形解析が数時間で解析可能：図-3)のレベルとなってきている。さらに大規模なモデルを解析するためには、ボクセル型FEM解析ソルバーとPCのネットワークを組み合わせることにより、高速に解析処理することも可能である。並列処理の方式は図-4に示すように、個々のプロセッサ上でプログラムを実行させたいえで、メッセージパッシングライブラリ(MPI：Message Passing Interface)などの通信ライブラリを利用し、プロセッサ間通信により計算の同期をとりながら処理を行うものである。

さらに近年の革命的と言えるITの発展により、現在の構造解析システムの構造形態が早急に変化していくのは、明らかである。今後の構造解析システムの利用環境は、インターネットとの連携なしでは考えられない。2000年初頭位から、ASP(Application Service Provider)が脚光を浴びてきている。ASPはインターネット環境を利用することにより、現存するシステムが抱えている問題点の多くを解決できるものと期待されている。ただ、登場から1年以上経ち効果的に運用されているシステムもあるが、構造解析システムにASPを適用するにあたっては、サーバ側CPUの負荷が

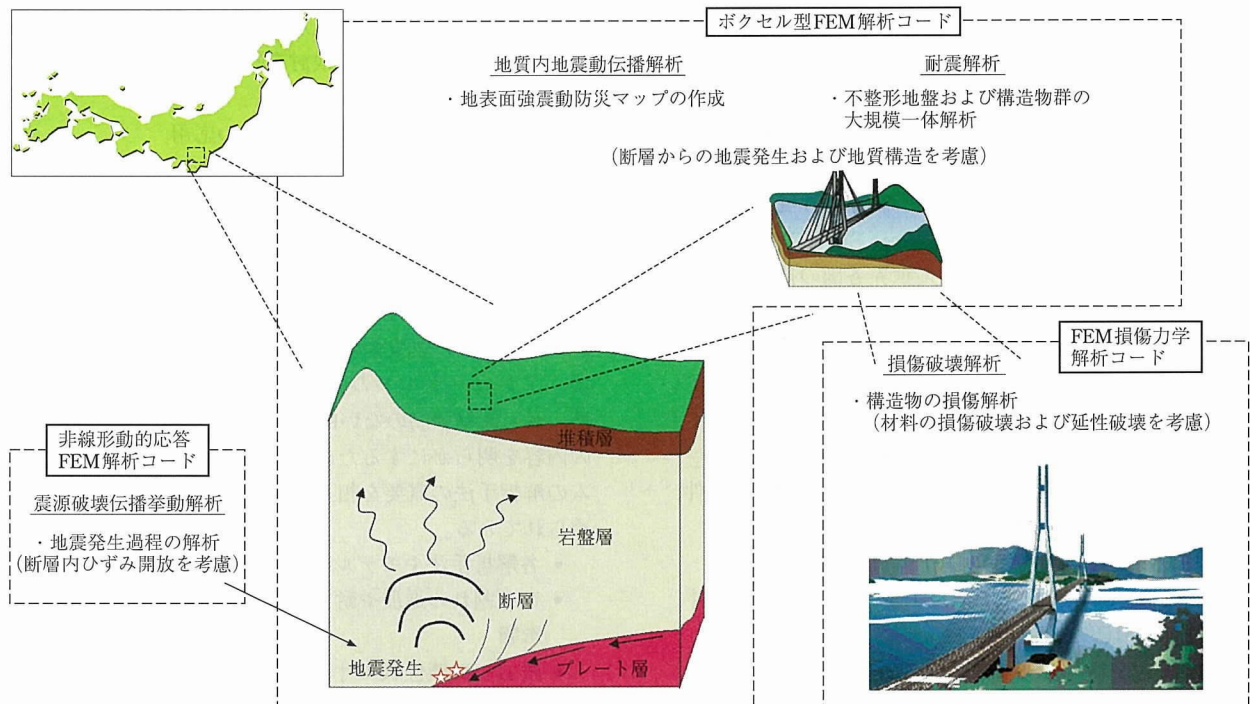


図-2 地震発生から構造物損傷までを扱う地震防災シミュレーションシステム

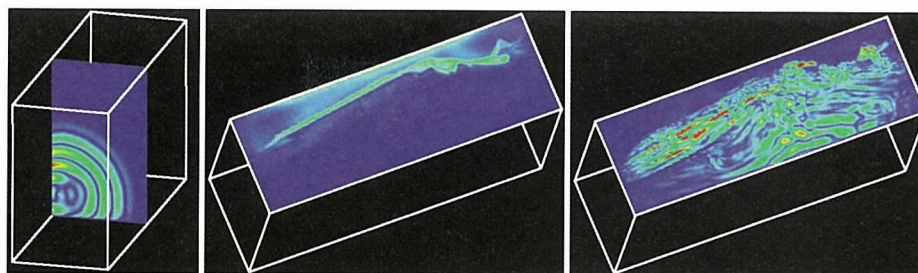


図-3 大規模FEM地質モデル(1000万自由度)の波動伝播解析(速度分布センター)

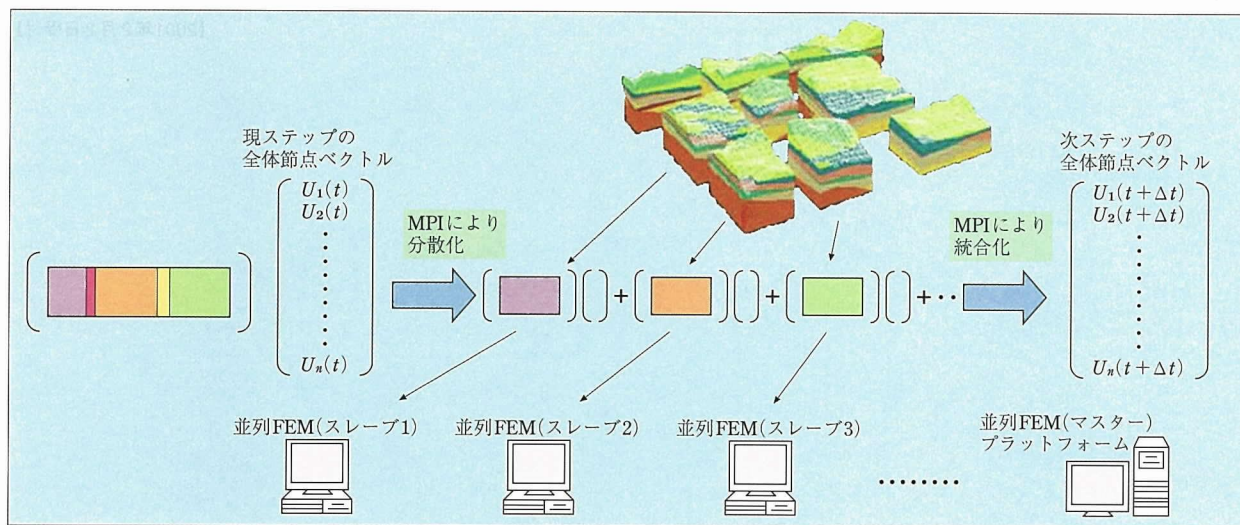


図-4 MPIを用いたFEM並列分散処理環境の概念図

表-3 今後の構造解析システムの利用環境の変化

現在のシステム利用環境	現在の問題点/課題	解決策
・ Intel系パソコンの普及により、ハードウェア資源と個別所有と、業務の分業化が進んだ	・ パソコン環境のメンテナンス費用(TCO)の大幅な増加 ・ 必要なパソコン台数の増加による初期コストの増加	・ パソコンにソフトをインストールさせないでソフトを使用する ・ パソコン1台あたりの価格を抑えるため、高性能のパソコンは使用しない
・ パソコン性能、OSの進化スピードの高速化	・ パソコンの陳腐化の速度が速く、実質的なライフサイクルが短い ・ OSのバージョンアップに対応し、アプリケーションのバージョンアップが必要になる	・ CPU負荷をサーバに集約し、端末機の負荷を軽減し、陳腐化を防ぐ ・ OSに影響を受けないソフトを利用する
・ 解析システム(パッケージソフト)の多様化・複雑化	・ 業務の形式により多くの種類のパッケージソフトを所有しなければならない ・ 高性能のパソコンを求められる	・ ソフトをレンタルし、所有しない ・ サーバにCPU負荷を集中させ、性能が低い端末機でも負荷のかかるソフトを使用できるようにする
・ WBT(ディスクレス、OSレスの端末)、Linuxなどの非Windows系インフラの登場に見られる端末機の多様化	・ 既存のソフトが使用できない	・ OSに影響を受けないネットワーク対応(Web対応)のソフトを使用する
・ 企業の情報化投資による優位性の崩壊	・ 情報化投資額を減らす必要がある	・ ソフトを必要ときだけ、レンタルし購入しない
・ 業務の高速化による納期の短期間化	・ ソフトを平均して使用することができなくなるため、必要な本数/種類に時的なムラが生じる	・ ソフトを短期間レンタルし、必要ときに必要な本数を使う
・ 一企業内での情報の共有化から、異なる企業間、業務間の情報共有が求められる	・ 共通のデータが使用できるソフトを各自がもつ必要がある	・ 必要ときだけレンタルする
・ 建設CALSへの対応が求められている	・ 所有ソフトをCALS対応にバージョンアップする必要がある	・ ソフトをレンタル利用し、常に最新のバージョンを使用する

インターネット経由によるASPで提供される構造解析システムを必要ときだけレンタルし、使用する

高すぎる等の問題点も指摘されはじめています。しかしながら、使用者の利便性およびコストパフォーマンス向上のため、インターネット環境が活用されることになるのは間違いない事実である。表-3はASPを例として、「現在のシ

ステム利用環境」→「その問題点」→「解決策」のかたちで示している。

上に述べた利用環境の変化も踏まえて、今後も構造解析システムはさまざまな分野で活躍し、そのことが社会に対

する貢献や発展に寄与できるものと確信する。

参 考 文 献

- 1) 矢川：「計算力学」小特集号発刊に際して，日本機械学会誌，Vol.92，No.847，p.1，1989.6
- 2) 尾田：有限要素法とは何か，やさしい有限要素法とその応用，pp.1～6，日本機械学会，1992.10
- 3) 広瀬，高橋，土居 編：コンピュータソフトウェア辞典，pp.1 080～1084，丸善，1990.4
- 4) 日本機械学会：計算力学ハンドブック，pp.16～22，1998.8
- 5) 和田：数値解析と構造設計－数値解析は構造設計の創造的過程に如何に寄与出来るか－，p.2，日本建築学会，1998.9
- 6) 日本建築学会：入門・建物と地盤との動的相互作用，pp.313～317，1996.4
- 7) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針，pp.890～896，1987.8
- 8) Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology，Vol.5，Division H，pp.321～440，Aug.1997
- 9) 上田：計算力学応用特論：コンクリート解析，神奈川科学技術アカデミー，p.3-2-3，p.3-2-30，1994.9
- 10) 日本コンクリート工学協会：破壊力学の応用研究委員会報告書，pp.141～177，1993.10
- 11) 土木研究センター：平成9・10年度耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書，pp.77～179，pp.328～374，1999.4

【2001年2月2日受付】



刊行物案内

- 複合橋設計施工規準(案)
- PC構造耐震設計規準(案)
- PC斜張橋・エクストラドーズド橋設計施工規準(案)－抜粋－

(平成11年12月)

頒布価格：3点セット 5 000円 (送料 600円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会