

関西大学工学部

関西大学大学院

JIP テクノサイエンス (株)

フェロー 三上市藏

学生員 ○濱谷秀一

正会員 竹原和夫

### 1. まえがき

構造工学の分野において、構造物の弾塑性解析や有限変位解析など種々の非線形問題を解析するにあたって、大容量・長大時間の計算が要求されている。近年、安価に構築できるなどの利点から、PC クラスタ型並列計算システム（以下 PC クラスタ）が注目されている。PC クラスタは複数の PC をネットワーク結合することで理論上 CPU 数とメモリ容量を無限に増やすことができる。そのため解析時間と解析規模の問題を解決できるが、その性能を引き出すことは容易ではない。

著者らは、先に有限要素法を適用した動的緩和法（Dynamic Relaxation Method）の定式化を行い、PC クラスタにおける並列計算処理を行った<sup>1)</sup>。しかし、クライアント PC 台数増加にともなう通信時間の増大が著しかったため、解析所要時間の短縮に限界があった。

本研究では、データ通信量の低減とデータ通信手法の効率化を図り、数百万自由度規模の非線形大規模構造解析を実現する。

### 2. PC クラスタ型並列計算システム

構築した PC クラスタのスペックを表-1 に示す。システムソフトウェアとして SCore5.6.1 を採用した。通信ライブラリとして MPI に準拠したライブラリ MPICH/Score1.2.5 を適用する。Fortran コンパイラには Intel Fortran Compiler 7.0.1 を用いる。

表-1. PC クラスタ並列計算システム

|                       | 21 Processors                |                        |                        |
|-----------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
|                       | Server                       | Client                 |                        |
| Number                | 1                            | 10                     | 10                     |
| CPU                   | Pentium III<br>1.16 GHz      | Pentium III<br>1.0 GHz | Pentium III<br>800 MHz |
| Memory                | 2 GB                         | 1 GB                   |                        |
| Hard Disk             | 70 GB                        | 20 GB                  |                        |
| Network               | 100 BASE-T Ethernet          |                        |                        |
| OS                    | Red Hat Linux 9.0            |                        |                        |
| System Software       | SCore 5.6.1                  |                        |                        |
| Communication Library | MPICH/Score 1.2.5            |                        |                        |
| Fortran Compiler      | Intel Fortran Compiler 7.0.1 |                        |                        |

### 3. 弾性有限変位解析手法

各要素節点にそれぞれ6つの変位成分と6つの節点力成分をもつ長方形要素を考える。まず、幾何学的非線形性を考慮するため、高次項を考慮したひずみ-変位関係式を導き、ひずみマトリクス  $\{B\}$  を得る。

弾性域では Hooke の法則に従って、ひずみ-応力関係式を求め、ひずみ-応力関係マトリクス  $\{D\}$  を得る。

仮想変位の原理を適用すると、要素節点力ベクトル  $\{f\}$  と要素節点変位ベクトル  $\{\delta\}$  との関係式が次のように求まる。

$$\{f\} = (\{B\}^T \{D\} \{B\} \mu V) \{\delta\} \quad (1)$$

得られた各要素の節点力から全節点の変位を求めるために、動的緩和法を用いて反復計算を行う。まず、節点における静的釣り合い式に慣性項と減衰項を付加し、運動方程式<sup>1)</sup>を導く。これを使って、節点力から変位速度を求める。変位速度から変位を得る。(1)式に適用し、変位が収束するまで繰り返し計算を行う。図-1 に解析フローを示す。

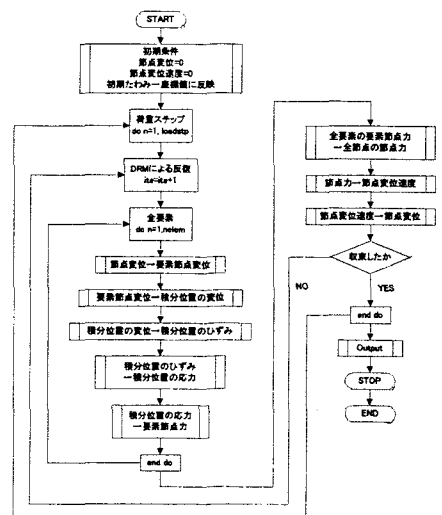
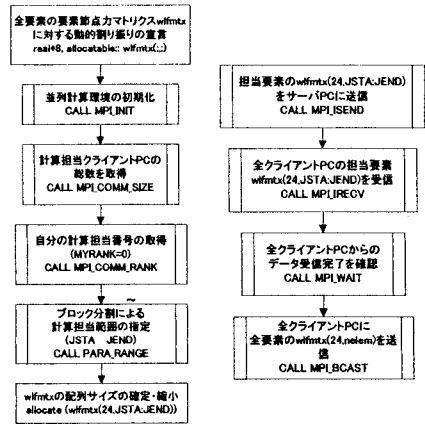


図-1. 解析フロー

4. 並列計算手法

クライアント PC の計算負荷を均等にするため、ブロック分割を用いた計算負荷分散を行う。データ通信量の低減を図るため、図-2 に示すように Fortran90 の新機能である Allocatable Statement を用いることで、通信データ配列に対して動的な配列振り割りを行う。データ通信手法の効率化を図るため、図-3 に示すように 1 対 1 の非ブロッキング通信サブルーチンである MPI\_ISEND, MPI\_IRECV と MPI\_WAIT ならびにグループ通信サブルーチンの一つである MPI\_BCAST を用いて必要最低限の通信のみを行う。<sup>2)</sup>

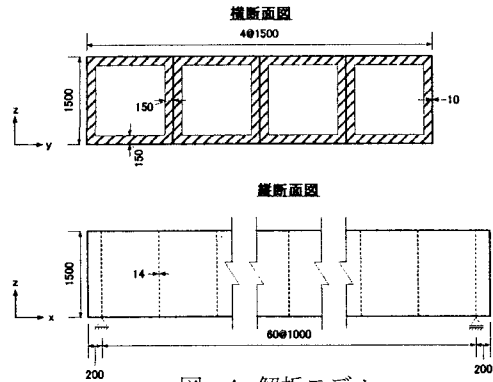


5. 非線形大規模構造解析システム

作成した MPI プログラムを、Intel Fortran Compiler 7.0.1 によってコンパイル・リンクを行って実行形式ファイルを作成し、PC クラスタに実装する。

6. 数値計算結果

大規模非線形解析問題に対する本解析システムの性能を調べる。そのために、図-4 に示す解析モデルに対し表-2 のようにメッシュ分割数が異なる 3 種類のモデル Model I, II, III を作成した。プリポストソフトとして汎用アプリケーション PATRAN を用いた。材料特性はヤング率  $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比 0.3、降伏応力  $5880 \text{ N/mm}^2$  とする。荷重条件としては、等分布線荷重を上フランジの中央補剛材位置に載荷した。



クライアント PC 台数の増加と計算時間の関係を見ると、図-5 のようになった。クライアント PC 台数の増加にともない、計算時間が短縮されていることが分かる。

これにより解析所要時間の問題を解決できる。クライアント PC 台数の増加と通信時間の関係を見ると、図-6 のようになる。このことから、クライアント PC 台数の増加にともなう通信時間の増加を低減できていることがわかる。

詳細は講演当日にゆずる。

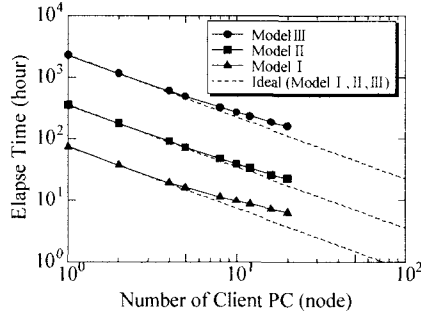


図-5. 計算時間

表-2.モデルの要素数と節点数

|     | Model I | Model II | Model III |
|-----|---------|----------|-----------|
| 要素数 | 22,129  | 69,149   | 544,011   |
| 節点数 | 23,756  | 71,444   | 550,176   |

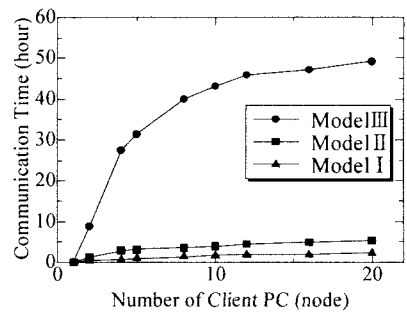


図-6. 通信時間

【参考文献】

- 1) 三上市藏・竹原和夫・濱谷秀一・狩野哲也：PC クラスタ型並列計算システムのための大規模複合非線形解析システムの開発，第 28 回土木情報利用技術講演集，土木学会，pp.67-70，2003.10.
- 2) 青山幸也：並列プログラミング虎の巻 MPI 版，日本 IBM，2001.5.