

第I部門 動的緩和法を用いた大規模構造解析へのグリッドコンピューティングの適用

関西大学大学院	学生員	○宮辻 和宏
JIP テクノサイエンス	正会員	竹原 和夫
関西大学工学部	フェロー	三上 市藏
関西大学工学部	非会員	二宮 淳

1. まえがき

グリッドコンピューティング¹⁾とは地理的に分散したコンピュータ資源を共有して利用する技術である．近年のネットワーク技術の向上により実現可能な技術となり，HPC の新たな手法として注目されてきている．グリッドコンピューティングの中でも大規模な演算処理を行うことを目的としたコンピューティンググリッドは，最も古くから研究されているグリッドコンピューティングであり，医療分野や生物化学の分野で多くの研究が行われている．しかし，これらの研究で行われている並列計算は分割された領域間での連続性を考慮しないことが多い．構造解析で必要とされる計算は連続体の計算であることから，並列計算を適用する場合は通信を行う必要がある．構造解析では有限要素法を使用することが一般的になってきているが，陰解法を用いる場合の疎行列の並列化は通信量のみが多くなることから，効果が出ないとされている²⁾．したがって，一般回線を用いるグリッドコンピューティングを構造解析に適用していくためには解法の工夫が必要となる．

本研究では，研究室の LAN 内に仮想的にグリッドコンピューティングの環境を構築する．次に有限要素法を適用した動的緩和法を用いた並列計算プログラムを作成し，これをグリッドコンピューティング環境に実装して今後への適用性について検討する．

2. グリッドコンピューティングシステム

本研究では研究室のイントラネット内に仮想的にグリッドコンピューティング環境を構築する．認証を行うサーバを 1 台と Linux のクライアントを 3 台準備した．各コンピュータのスペックを表-1 に示す．ミドルウェアには Globus Toolkit 2.4.3³⁾を用い，グリッドコンピューティングの環境を構築した．また，並列計算ツールとして Globus Toolkit 上で動作する MPI の実装である MPICH-G2 を用いた．

表-1 グリッドコンピューティング環境のスペック

ホスト名	grid01	grid02 ~ 04
CPU	PentiumIV(3.40GHz)	PentiumIV(2.80GHz)
メモリ	2GB	1GB
HD	160GB	80GB
OS	Redhat Enterprise ES	Redhat Professional WS

3. 数値計算手法

(1) 並列計算を考慮した動的緩和法

要素は 8 節点 6 面体要素を考える．解析対象を図-1 に示すように添字 m を用いて， Ω_m と Ω_{m+1} に分割すると仮定する．ある分割領域 Ω_i の節点 n における x, y, z 方向の変位を $\{\delta\}_{\Omega_i, n} = \{\delta_x, \delta_y, \delta_z\}_{\Omega_i, n}$ ，作用している外力を $\{f_{g, ext}\}_{\Omega_i, n} = \{f_x, f_y, f_z\}_{\Omega_i, n}$ とする．時間は間隔 Δt で分割する．はじめに要素については有限要素法の考え方から，要素剛性マトリクス $[K_e]$ を求める．次に時刻 $(p-1/2)\Delta t$ において $[K_e]$ に $\{\delta\}$ を乗じることで各要素毎の節点力ベクトル $\{f_{e, int}\}$ を求め，さらに系全体の節点力ベクトル $\{f_{g, int}\}$ を得る．

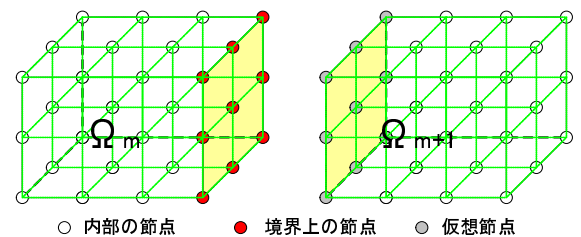


図-1 領域の分割

$$\{f_{e, int}\}_{\Omega_i, n, p-1/2} = [K_e] \{\delta\}_{\Omega_i, n, p-1/2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\{f_{g, int}\}_{\Omega_i, n, p-1/2} = \sum_{j=1}^{elem} \{f_{e, int}\}_{\Omega_i, n, p-1/2} \dots \dots \dots (2)$$

次に、節点 n のつりあい慣性項と減衰項を付加し、さらに変形すると次式が得られる。

$$\left\{\dot{\delta}\right\}_{\Omega i, n, p} = \frac{1}{1 + 0.5C \frac{\Delta t}{m}} \cdot \left[\left(1 - 0.5C \frac{\Delta t}{m}\right) \left\{\dot{\delta}\right\}_{\Omega i, n, p-1/2} + \frac{\Delta t}{m} \left(\left\{f_{g, ext}\right\}_{\Omega i, n, p-1/2} - \left\{f_{g, int}\right\}_{\Omega i, n, p-1/2} \right) \right] \dots\dots\dots (3)$$

ここに m は質量、 C は減衰係数である。次に変位速度 $\left\{\dot{\delta}\right\}_n$ を時刻 p において中央差分表示し、変形すると次式が求まる。

$$\left\{\dot{\delta}\right\}_{\Omega i, n, p+1/2} = \left\{\dot{\delta}\right\}_{\Omega i, n, p-1/2} + \Delta t \left\{\ddot{\delta}\right\}_{\Omega i, n, p} \dots\dots\dots (4)$$

(2) 境界上における変位の更新

並列性を考えない場合は式 (1) ~ (4) を繰り返すだけでよいが、並列計算を行う場合は境界上の $\left\{f_{g, int}\right\}$ に各分割領域の $\left\{f_{e, int}\right\}$ を集計する必要があるため、単にこの節点に式 (2) ~ (4) を適用することはできない。そこで並列計算を行う前処理として図-1 に示すように、 Ω_{m+1} の境界上に仮想節点を生成し、式 (2) ~ (4) の繰返計算のために用いる。このとき通信は境界上の節点変位のみとする。すなわち領域 Ω_m の境界上の節点の変位、 Ω_{m+1} における仮想節点の変位をそれぞれ $\left\{\delta\right\}_{bou, \Omega m}$ 、 $\left\{\delta\right\}_{double, \Omega m+1}$ とすると、変位の更新は次式で表される。

$$\left\{\delta\right\}_{bou, \Omega m} = \left\{\delta\right\}_{double, \Omega m+1} = \frac{\left\{\delta\right\}_{bou, \Omega m} + \left\{\delta\right\}_{double, \Omega m+1}}{2} \dots\dots\dots (5)$$

4. 数値計算結果

本プログラムを構築したグリッドコンピューティング環境に実装し、線形弾性解析を行った。解析モデルを図-2 に示す。節点数は1760、要素数は790で、並列計算のための領域分割は長手方向に2~4分割とした。2分割の解析において反復回数5000の変形図を図-3 に、収束後の変形図を図-4 に示す。これらの図より反復を重ねることで解が収束に向かうことと、並列の場合でも解が正しく得られていることがわかる。

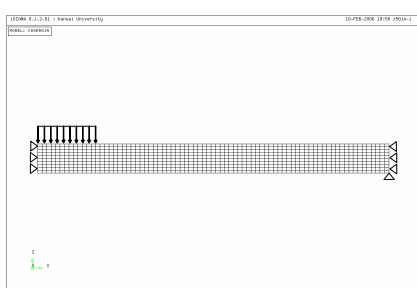


図-2 解析モデル

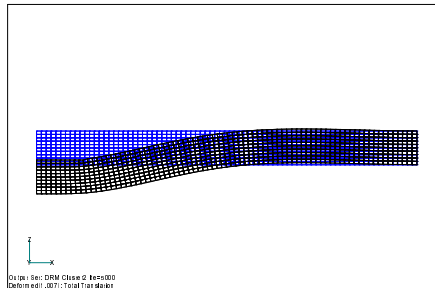


図-3 変形図 (収束前)

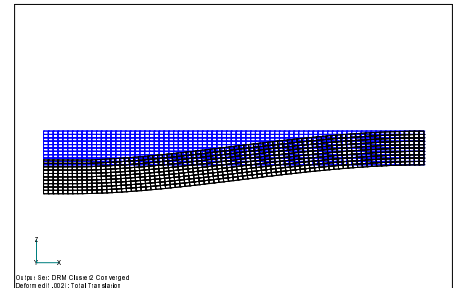


図-4 変形図 (収束後)

次にクライアント台数と解析時間の関係を図-5 に示す。これよりクライアント台数の増加に伴い解析時間が短縮されていることがわかる。線形弾性解析としては満足できる解析時間ではないが、時間短縮の傾向は台数増加と比例関係にあることがわかる。また同じモデルを SCore 型の PC クラスタ型並列計算機で解析した結果を図-5 に追記した。LAN 環境を用いるグリッドコンピューティングは専用の通信回線を用いる PC クラスタ型並列計算機に比べて解析時間が長くなっていることがわかる。これらのことから一般回線を用いるグリッドコンピューティングを計算資源として運用していくためには、さらに通信量低減の工夫が必要と考えられる。

5. あとがき

詳細は講演当日に譲る。

参考文献

- 1) 日本アイ・ピー・エムシステムズエンジニアリング (株) : グリッドコンピューティングとは何か, Globus Toolkit ではじめるグリッドの基礎, ソフトバンクパブリッシング, 2004.4.
- 2) 土木工学における計算力学手法の新展開 (SACOMCE) 講習会テキスト, 土木学会応用力学委員会, 同計算力学小委員会, 2005.8.
- 3) <http://www.globus.org/>

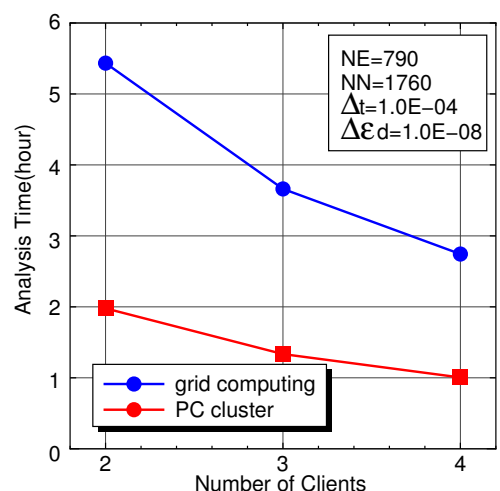


図-5 解析時間