

1. はじめに 有限要素法による流体解析は、膨大な計算時間を必要とする。例えば浅水長波方程式を用いて洪水の現地解析等を行う場合には、有限要素数が数万、解析実時間が数日といった問題となり、数秒の微小時間増分量を用いて計算を進めて行く逐次時間積分法を用いる場合では、今日の標準的なワークステーションを用いて数十時間のCPU時間が必要となる。

このような大規模数値解析は、パイプライン方式のスーパーコンピューターを用いることによって大幅な計算時間の節減をはかることが可能である¹⁾が、計算コストが高価で身近に使用できない場合が多いと考えられる。一方、ワークステーションによるLANが近年普及し、それを用いて並列に計算処理を行うインターフェイスが普及してきている。

そこで本研究では、複数のプロセッサを同時に使用して、計算を進めて行くパラレルコンピューティングの有限要素法解析への適用を考えるものである。パラレルコンピューティングを実行する方法には、専用のマシンを用いる方法とネットワーク化された複数のワークステーションを用いる方法があり、ダム破壊時の水流挙動の解析について、この2種のパラレルコンピューティング方法を適用し、諸検討を行うものである。

2. 使用機種 本研究で用いる機種は、MIMDタイプのパラレルコンピューター T805(64 プロセッサ:Parsytec社)と、インサネットLANによる SUN4/10 ワークステーション 16台である。双方ともメッセージパッシングインターフェイスを用いて書き換えた同一のプログラムによって同問題の計算を行うものとする。

3. 数値解析手法とパラレルアプローチ 洪水問題を対象として作成した有限要素法プログラムを用いる。基礎方程式は浅水長波方程式を用い、有限要素は三角形一次、時間積分法は2段階陽的解法である。洪水時における流域変化を表すために、移動境界手法を導入している。このプログラムのアルゴリズムを、図-1に示す。2段階陽的解法では、次の時間の物理量を得る際に、2度の要素ループによる要素マトリックスの重ね合わせを必要とする。パラレルコンピューティングを適用する場合、各プロセッサにたいして計算する要素や節点を割り当てるが、この重ね合わせ部分で各プロセッサ間でのコミュニケーションをとる必要がある。即ち、各プロセッサ間でデータ交換を行わなければならない。有限要素分割は用いるプロセッサ数について要素、節点数がほぼ同数となるように分割される²⁾。パラレルアプローチは以下の手順で行うものとする。

1. 使用するプロセッサ数の決定
2. 有限要素の領域分割データ作成
3. 領域分割データのマップ作成
4. 計算実行
5. 計算時間の取得

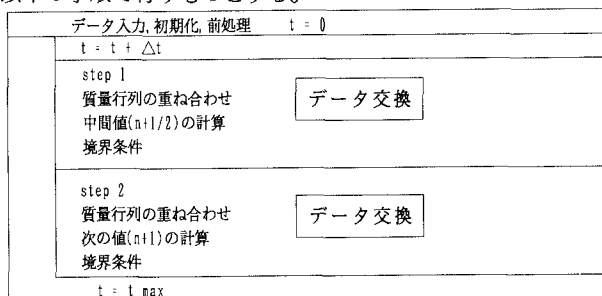


図-1 アルゴリズム

4. 計算結果と考察

ダム破壊時の水流挙動についての図-2のような解析モデルを用いる。初期状態では全く水のない平板に上流部から水が流入し水域が広がる現象の計算である。図-2は8プロセッサを用いた場合の計算結果であり、図中の太線は領域分割を示している。計算モデルの規模による違いを検討するために3種類の要素分割 (Small model:6560 要素, Medium model:13120 要素, Large model:26240 要素) を用意する。この3種類の要素分割それぞれにパラレル専用機 T805 を用いて、プロセッサ数を 1,2,4,8,16,32,64 とした場合の速度向上比を示したものが図-3 である。また、図-4 はワークステーションを用いて同様の計算を行ったものである。

パラレル専用機を用いた場合には、計算モデルの規模とはほぼ関係なく速度向上比が得られている。64 プロセッサを用いた場合は1 プロセッサと比較して約 30 倍の性能が上げられている。一方、ワークステーションでは、Small model の場合、8 台以上使用時には速度向上比が悪化し、計算モデルの規模によって得られる性能が異なることが解る。この理由は、機種を持つ CPU 性能と、ネットワーク間のコミュニケーション時間との関係にあり、T805 等の専用機はコミュニケーション時間が極小さいのに対し、ワークステーション LAN ではそれが大きいことが原因と考えられる。この問題で計測した各機種の CPU 性能は T805 の個々のプロセッサでは 0.8MFLOPS、SUN4/10 は 8.1MFLOPS であった。

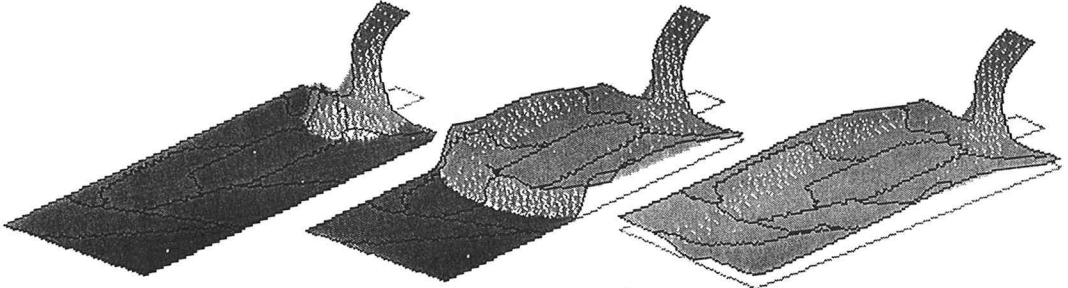


図 - 2 解析モデル

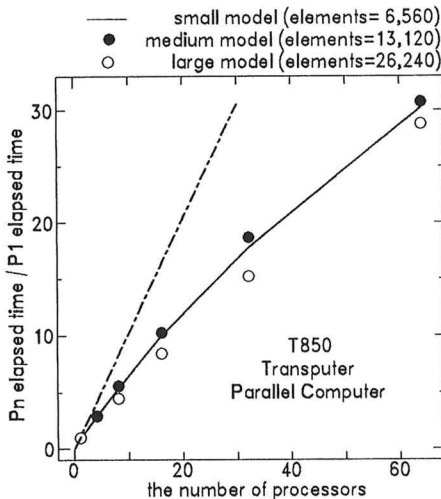


図 - 3 速度向上比 (T805)

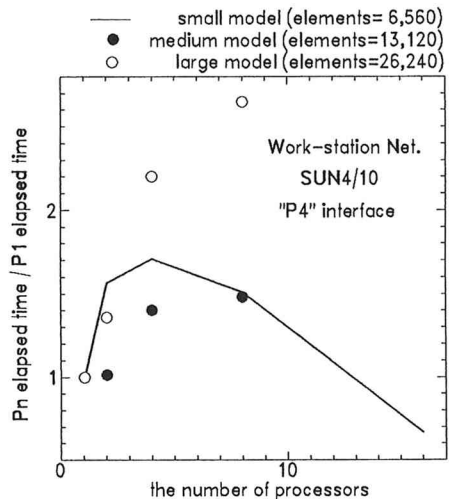


図 - 4 速度向上比 (WS)

5. おわりに

パラレルコンピューティングによって、現在普及している数台のワークステーションを用いて数倍程度の速度性能を得られることは、極めて大きな意義があると思われる。本手法のような移動境界問題では並列用の領域分割に強く依存する。例えばこの問題例では、水が到達していない領域に割り当てられたプロセッサにおいて待ち時間が多くなってしまう。並列計算用領域分割についての検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 畑中, 川原, 梅津: "二段階陽の有限要素法プログラミングのベクトル化手法の検討", 昭和 63 年 3 月土木学会 構造工学論文集
- 2) Farhat, C.: "A sample and efficient automatic FEM domain decomposer."
- 3) Umetsu, Laemmer, Meissner: "Two-step explicit finite element method for shallow water flow using scalable parallel approach", X-ICWR, Heidelberg, 1994