I－625

大変形構造解析の並列処理化についての基礎的研究

名古屋工業大学　学生員　庄司 朋宏　名古屋工業大学　正　員　小畑 誠
名古屋工業大学　正　員　後藤 芳顯　名古屋工業大学　正　員　松浦 聖

1 はじめに

近年の計算機の能力の飛躍的な発展により、より詳細で現実的な条件での構造物の解析、すなわち大規模な構造解析が可能となりつつある。特に最近になって急速に広範囲での実用化の可能性が出てきたハードウェアのパラダイムとしての並列計算機はその能力を構造解析において十分に発揮させるためにこれまでの数値計算のアルゴリズムの再考を要求している。しかしながらまだ並列処理化に関する研究はまだ緒についたばかりであり、なかでも大変形問題、弾塑性解析などへの応用についての問題点などはほとんどあきらかにされていないと思われる。ここでは数値解法として汎用性の高い有限要素法を用いた大変形解析における並列処理化を考えることにする。並列計算機としては特殊なものではなく簡単に利用可能なバス型ネットワークに結合された複数台のUNIXワークステーション（ＷＳ）を粗結合計算機として考える。そして構造解析の特徴を利用しかつ粗結合並列計算機に最も適していると考えられる領域分割法を並列化アルゴリズムの基本とする。そして大変形解析における並列処理化における問題点等について考察する。

2 領域分割法[1)]

領域分割法は主問題を扱う全体をいくつかの領域にし、分割した領域に対する従属問題を定義して試行錯誤的に主問題の解をもとめていく方法である。まず主問題が次のように定義されているとする。

$\sigma_{ij,i}=0$ *in* D，$t_i=\overline{t}_i$，*on* ∂D_t，$u_i=\overline{u}_i$ *on* ∂D_u

ここで領域D を２つに分割しそれぞれD_{I} とD_{II} するとそれぞれの領域について従属問題は次のように表すことができる。

$\sigma_{ij,i}=0$ *in* D^{I}，$t_i=\overline{t}_i$，*on* $\partial D^{\mathrm{I}}_t$，$u_i=\overline{u}_i$ *on* $\partial D^{\mathrm{I}}_u$

$\sigma_{ij,i}=0$ *in* D^{II}，$t_i=\overline{t}_i$，*on* $\partial D^{\mathrm{II}}_t$，$u_i=\overline{u}_i$ *on* $\partial D^{\mathrm{II}}_u$

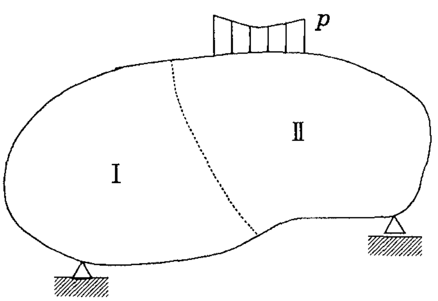

図１　領域分割

そして領域Ｉ、IIの接合境界条件が新たに次のように付け加わる。

$t^{\mathrm{I}}_i=t^{\mathrm{II}}_i$（トラクションの連続条件），$u^{\mathrm{I}}_i=u^{\mathrm{II}}_i$（変位の連続条件）

もちろん接合境界上では変位、トラクションともに未知であるので次のような収束過程で問題を解いていく。

１：接合境界上での変位を仮定し、$u_i=\mu^n_i$ とする。

２：従属問題Ｉ、IIを解く。

３：接合境界上でのトラクションの連続条件を確認する。条件を満たしていれば主問題が解けたことになり、そうでなければ新たな接合境界上での変位の仮定値を

$$\mu^{n+1}_i=\mu^n_i+\rho(t^{\mathrm{I}}_i-t^{\mathrm{II}}_i) \qquad (1)$$

で与え、ステップ１に戻る。ρ は定数である。

この方法ではステップ２で２つの従属問題をそれぞれ独立して並列的に解くことができる。一般にｎ個の領域に分割した場合も同様である。大変形解析への拡張も通常のものと同じように考えればよい。アルゴリズムとしては粒度の大きいものであり、比較的結合度の粗い並列計算機への応用が適している。領域分割の数と計算機の数は一致しているときに実行時における並列度は最も高くなるが必ずしも一致している必要はない。

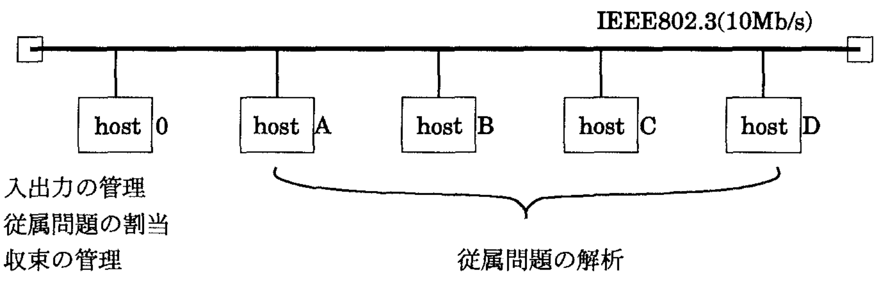

図２ 並列計算実行の形態

３ 計算例と考察

領域分割法を応用した並列処理の実行の形態には様々なものが考えられるが、ここでは最も一般的なIEEE802.3仕様のネットワークであるEthernet(10Mb/s)に接続された複数台のＷＳによるものを用いた。（図２）構造解析例としてまず弾性変形の範囲内での簡単な平面ブロックの平面ひずみ引張りの問題を考えた。４つの領域に分割し各領域にそれぞれ特定のＷＳを割り当て、さらに１台のＷＳに解析全体を総括をさせて公称伸びひずみで５％までの大変形解析を行った。計算条件は図３に示すとおりである。接合境界条件の収束は増分変位で判断している。なお大変形解析に付随する非線形計算のニュートン-ラプソン収束過程は接合境界条件の収束を完了させた後に考慮した。接合境界上での初期値としては、第１回目の増分ステップでは、分割領域を１要素とする通常の有限要素法による予備解析を行いその結果をもとにしたものを与え、そして第２回目以降においては前回の収束値を用いた。

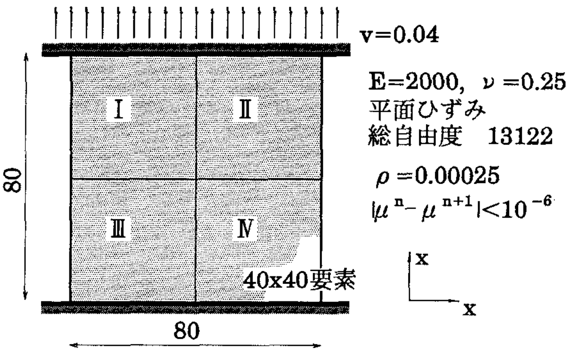

図３ 計算条件

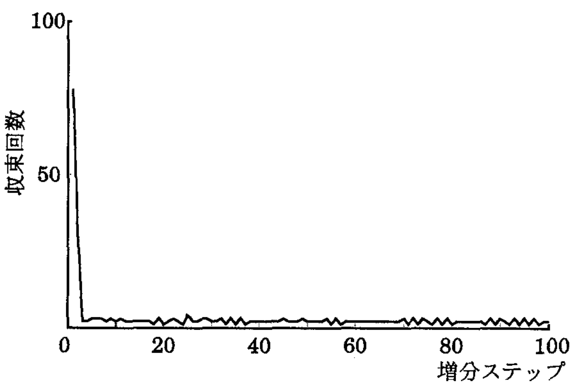

図４ 接合境界の収束状況

ニュートン-ラプソン収束過程の収束性は通常の有限要素法と同様であり並列処理化においても特に特別な考慮は必要ではなかった。接合境界条件の収束状況について図４示す。図にあるように増分計算の最初の２、３ステップを別にすれば収束状況はきわめて良好でありほとんどの増分ステップにおいて１、２回の修正で収束解を得た。接合境界条件の収束には初期値と式(1)のρが影響するが、最初の数増分ステップを除けばρの影響は比較的小さく、むしろ初期値に大きく依存していることをいくつかの解析例で確認した。特に増分の最初のステップで予備解析を用いた前処理による収束状況の改善には著しいものが見られた。領域分割法では並列処理化の方法が明解であり実行も比較的簡単である。接合境界条件の収束に関してはさらに詳細な検討が必要であるが、大規模な大変形解析において有望な方法であると考えられる。

参考文献

1) R. Glowinski, O.V. Dinh, and Periaux, Domain decomposition methods for nonlinear problems in fluid dynamics, Comput. Meth. Appl. Mech. Engrg. 40, 27-109, (1983)