

CS-19

並列構造解析手法を用いた材料変形特性の数値シミュレーション

横浜国立大学大学院 学生員 清水孝之
横浜国立大学工学部 正会員 椿 龍哉

1. はじめに

コンクリートは粗骨材とモルタルを主要な構成要素とする複合材料であり、その不均一さに起因する非線形な変形挙動を示す。このような非線形な変形挙動の内部機構を把握するためには、粗骨材レベルの寸法のモデル化により解析することが必要であると考えられる[1]。しかし、そのためには大規模なマトリックスを扱う必要があり、非線形解析においては計算時間の増大も問題となる。そこで本研究では計算の効率化のために並列処理に適するモデルを提案し、それを用いた並列構造解析手法の構築と性能評価を目的とする。さらに、並列構造解析手法を非線形解析に適用し、その有効性を検証する。

2. 並列処理システム

本研究では並列処理プロセッサとしてMIMD型の疎結合並列処理機であるプロセッサモジュールを用いる。図-1のように、5台のプロセッサをリング状に結合し、ルートプロセッサとする1台をホストコンピュータであるパーソナルコンピュータに接続したものを並列処理システムとして用いる。ルートプロセッサは、ホストコンピュータと他のサブプロセッサとの媒体となりながら、データの統合と分配を行う。

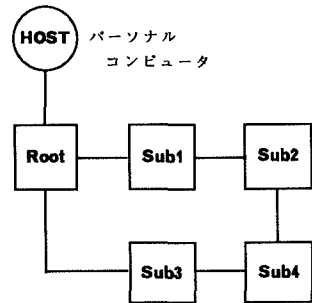


図-1 並列処理システム

3. 並列構造解析手法の性能評価

並列構造解析手法の性能を評価するために2次元弾性解析を行う。解析例として、ヤング係数: 2.0×10^4 [MPa]、ポアソン比: 0.2、厚さ: 5.0 [cm]の均一な材料特性を持つコンクリート平板を考え、この平板が 2×2 個のマクロ要素から成るものとする。この解析例では、 2×2 、 3×3 、 4×4 、 5×5 個の4節点四辺形要素から成る複合要素をマクロ要素とする。マクロ要素の辺上にある節点を外部節点、マクロ要素内の節点を内部節点と呼び、マクロ要素を構成する4節点四辺形要素は 1.0 [cm] $\times$ 1.0 [cm] であるとする。なお、ここで用いる4節点四辺形要素は4個の定ひずみ三角形要素を用いたものである。内部節点の節点番号の後に外部節点の節点番号が続くようにデータを作成すれば、LD分解により、外部節点だけからなる剛性方程式を導き出すことができ、ルートプロセッサでは外部節点に関する計算のみを行えばよく、内部節点に関する計算は各サブプロセッサで並列処理が可能となる。この計算過程は以下のようにまとめられる。

マクロ要素の剛性方程式を次のようにおく。

$$Ku = R \quad (1)$$

ここに、 K : 要素剛性マトリックス、 u : 変位ベクトル、 R : 荷重ベクトルである。添字Iで内部節点に関する量、添字Bで外部節点に関する量を表わすと式(1)は次のように分割される。

$$\begin{bmatrix} K_{II} & K_{IB} \\ K_{BI} & K_{BB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_I \\ u_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_I \\ R_B \end{bmatrix} \quad (2)$$

K_{II} 、 K_{IB} 、 R_I をLD分解すると[2]、

$$K_{II} = L_{II} D_{II} L_{II}^T; K_{IB} = L_{II} D_{II} L_{II}^T U_{IB}; R_I = L_{II} D_{II} L_{II}^T V_I \quad (3a, b, c)$$

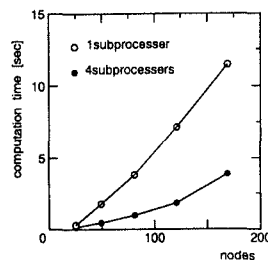


図-2 全計算時間

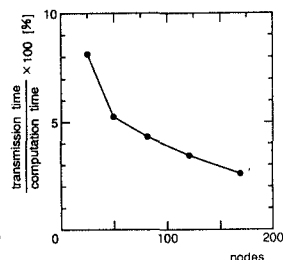


図-3 通信時間の割合

これらを式(2)の展開式に代入すると、以下のようなマクロ要素の外部節点に関する剛性方程式が得られる。

$$K^* u_B = R^* \quad (4)$$

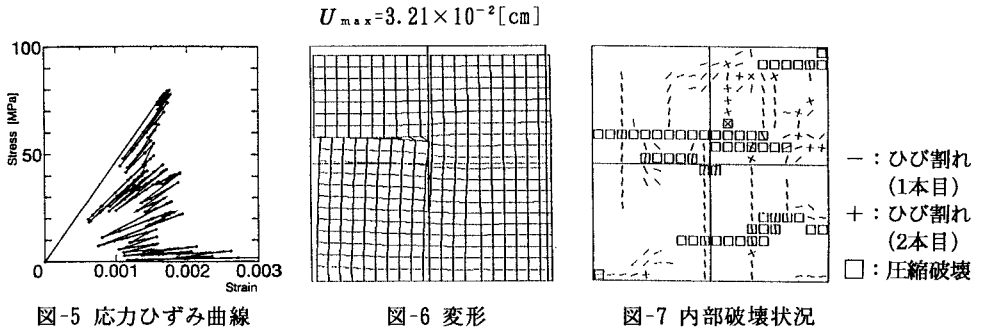
$$K^* = K_{BB} - K_{BI} U_{IB} ; R^* = R_B - K_{BI} V_I \quad (5a, b)$$

図-2、図-3は4個のマクロ要素を全て1個のサブプロセッサで計算させる場合とそれぞれを1個のサブプロセッサで計算させる場合の解析結果を示す。ここではデータの入出力を除く全ての計算過程に要した時間を全計算時間とする。図-2からは、単一のサブプロセッサでの計算に対して4個のサブプロセッサによる並列処理に計算時間の短縮が見られる。図-3では、並列処理を行った場合の全計算時間に対するプロセッサ間の通信時間の割合が非常に小さく、通信時間が全計算時間にほとんど影響を与えないことが示されている。

4. 並列構造解析手法による弾塑性解析

高強度コンクリートに関する2次元弾塑性解析に並列構造解析手法を適用し、その有効性を検証する。モデル化した材料は、圧縮強度を平均100[MPa]、引張強度は平均10[MPa]、ヤング係数は平均49[GPa]、ポアソン比は0.2（一定）とし、変動係数10%の正規分布によるばらつきを持つものとする。解析対象となる高強度コンクリート供試体は、縦20[cm]、横20[cm]、厚さ5[cm]の平板であり、この平板は2×2個のマクロ要素から成り、そのマクロ要素は10×10個の4節点四辺形要素から構成されるとする。

鉛直方向に圧縮荷重を加えた場合の計算結果を図-5～図-7に示す。図-5からわかるように最大応力に達するまでは線形的な応力ひずみ関係を示し、最大応力到達後には若干のひずみ軟化も見ることができる。図-6は変形を、また、図-7は内部破壊状況を示す。これらより、破壊による変形が局所化していることが確認できるが、これは実際のコンクリートにも見られる。また、データの入出力以外の計算時間を測定した結果、全計算時間：8200.12[sec]、通信時間：68.86[sec]であり、全計算時間における通信時間の割合は0.84[%]となった。このことから、この並列構造解析手法は弾塑性解析に対して有効であると言える。



5. 結論

- 1) 2次元弾塑性解析に対してマクロ要素を用いた並列構造解析手法を構築した。
- 2) 単一プロセッサによる逐次解析手法と比較して、並列構造解析手法により計算効率が向上する。
- 3) 並列構造解析手法を高強度コンクリートにおける材料非線形問題に適用し、その有効性を確認した。

参考文献

- [1] 椿龍哉：微小構造単位要素のモデル化と材料特性のシミュレーション、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、第18巻、pp. 465～470、1994。
- [2] Adeli, H. and Kamal, O. : Concurrent Analysis of Large Structures- I. Algorithms, II. Applications, Computers and Structures, Vol. 42, No. 3, pp. 413～424, 425～432, 1992.