

RC 構造解析への並列計算の適用に関する研究

名古屋大学工学部 学生会員 上田 尚史
名古屋大学大学院 正会員 伊藤 睦
名古屋大学大学院 正会員 中村 光
名古屋大学大学院 フェロー会員 田邊 忠顕

1. はじめに

従来の構造解析では、解析対象として部材単体のみを扱うことや、問題によっては次元を落としたモデル化がなされることが多い。しかしながら、地震時の実構造物は多方向の地震荷重を受けるとともに、構造システム全体の一部である部材単体挙動は、当然の事ながらシステム全体の挙動の影響を受ける。加えて、構造物の地震応答は地盤の状態によって大きく異なり、地震波においても周辺地盤の影響を受ける。以上のことから、実現象を精度良く予測するには、解析対象を構造システム全体まで広げ、かつ、地盤に関しても3次元でのモデル化が必要である。一方で、このようなモデル化を行うことは自由度が膨大な数になり、計算時間の増加やメモリの不足などが問題となる。この問題は、ワークステーションやスーパーコンピュータ等の大型計算機を利用することで解決可能と考えられるが、それらを頻繁に利用することは困難である。そこで本研究では、汎用 PC を数台つなげた並列クラスタ環境を構築し、並列計算を RC 構造解析に適用し、その適用性に関して検討することを目的とする。また将来的には、並列計算を行うことで名古屋市全体を解析対象とした 100 万自由度以上の非線形解析を実行することを目的とする。

2. 並列手法

並列化の方法として、領域分割法¹⁾を用いた。領域分割法とは、解析対象をいくつかの領域に分割し、各領域においてそれぞれ解析を行い、領域分割によって生じた人工的な境界での力のつりあいを満たすように反復計算を行う方法である。領域分割法の利点は、解析の対象を全体から領域に移すことで自由度数を減少させることができる点であり、1 台あたりの計算量、計算時間および使用メモリを減少させることが可能となる。また、領域ごとの解析が通常有限要素解析と同様に行う事ができ、さらにそれぞれ独立

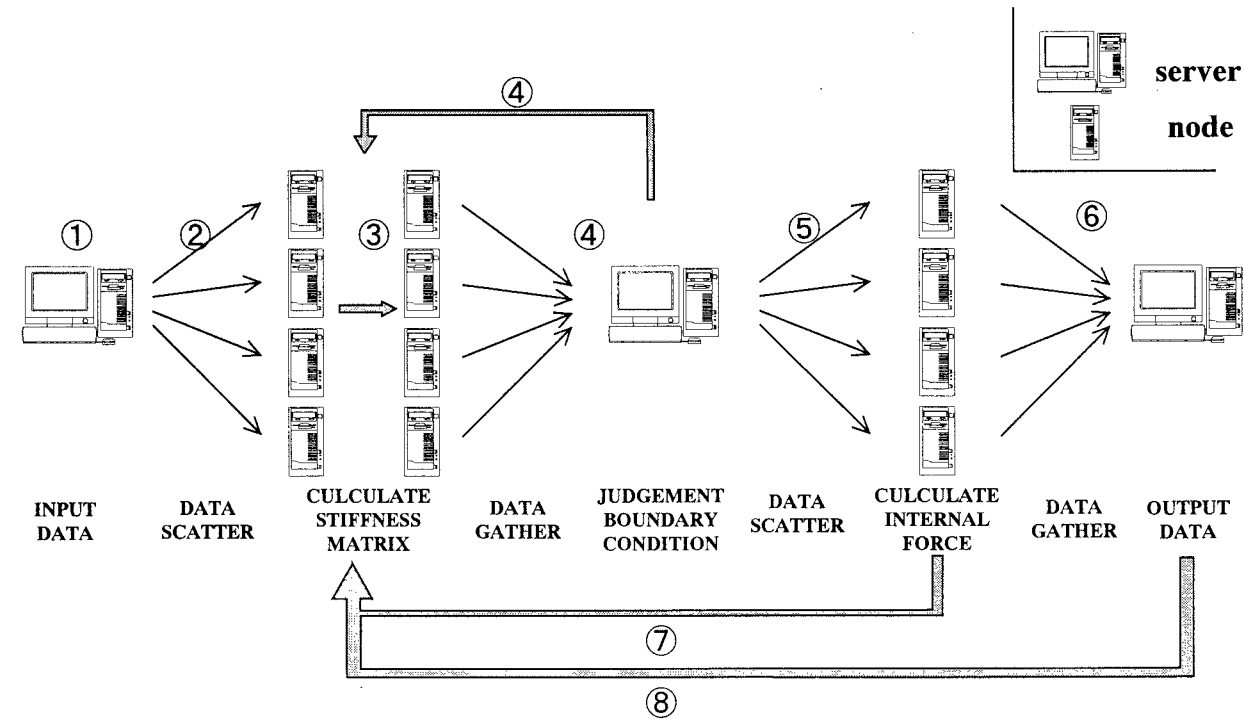


図-1 並列計算の流れ（非線形解析）

に計算を行うことが可能であり、並列化に最も適した手法といえる。図-1 に並列化による解析の流れを示す。以下、図中の番号に対応する処理の概略を示す。なお、本研究で用いた並列クラスタ環境は、SCore 型クラスタ環境であり、自主構築を行った²⁾。

- ① データ入力…要素情報、節点情報、荷重、変位などのデータを入力する。サーバーのみで行う。
- ② データの分散…入力したデータをサーバーから各ノードに分散する。外力と変位に関しては作用する領域に対してのみ送る。
- ③ 剛性方程式…領域内の要素のみを対象として剛性方程式を作成する。剛性方程式の解法としては直接法と反復法があるが、数値誤差がポストピーク挙動に及ぼす影響を懸念して、直接法であるスカイライン法により解く。なお、各ノードは独立に計算を行う。
- ④ つりあいの判定…サーバーは全ノードからデータを収集し、領域間の境界における等価節点力ベクトルを評価する。条件を満たすなら内力計算に進み、満たさないならば収斂計算を行う。収斂計算は収束性の良さとアルゴリズムが並列性を持っていることから共役勾配法 (The Conjugate Gradient Method, CG 法) を用いる¹⁾。
- ⑤ 内力計算…ひずみ、応力、等価節点力の計算を行う。非線形解析では、不平衡力の計算を行いつりあいの判定を行う。各ノードは独立に計算を行うことができる。
- ⑥ データ出力…データの出力はサーバーのみが行う。出力するデータを各ノードから収集する。
- ⑦ イタレーション…非線形計算での収斂計算。
- ⑧ 次ステップへ進む。

3. 解析モデル

解析は、寸法 $37 \times 25 \times 160 \text{ cm}$ の RC 柱の一軸曲げに対して行った。図-2 に解析モデルを示す。モデル化の方法としては、コンクリート要素および鉄筋コンクリート要素をそれぞれ 3 次元ソリッド要素でモデル化した (要素数 832, 節点数 1134)。また、解析に用いた構成則は、格子等価連続体化法による 3 次元連続体構成モデルである。本解析では、領域分割を柱の軸方向に対して垂直な面で 7 分割することにより、各領域での解析は要素数 128, 節点数 243 のみを対象として行うこととなり自由度数にして 4 分の 1 程度まで低減させた。なお、分割に伴い生じる領域境界の自由度は 486 である。

従来の解析から計算された RC 柱頂部の荷重-変位関係を図-3 に示すが、並列計算を行う事で全く同様の解を得ることができる。さらに、並列効果により計算時間の短縮を図ることができる。

4. まとめ

並列クラスタ環境の構築は、特別な専門知識を必要とすることなく容易に行うことができ、また、プログラムの並列化に関しても同様である。

領域分割法での並列計算は、RC 構造の非線形解析に適用する事が可能であるとの見通しを得た。今後は、多自由度数の解析を行うとともに、領域境界の増加に伴う反復数の増加に対しての検討が必要である。

参考文献

- 1) 矢川元基, 曾根田直樹共著: パラレルコンピューティング, 培風館, 1991
- 2) 石川裕ら: Linux で並列処理をしよう, 共立出版, 2002

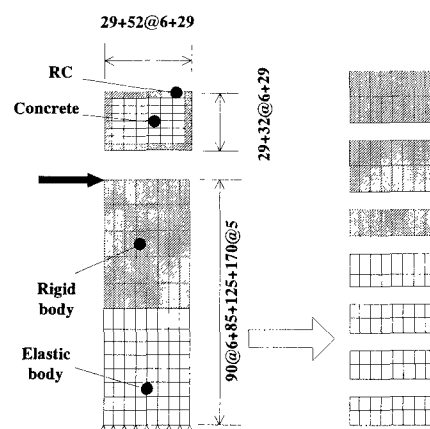


図-2 解析モデル (mm)

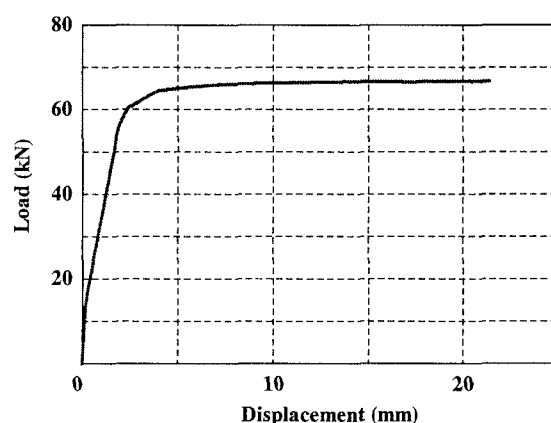


図-3 変位-荷重関係