

並列計算による RC 構造の非線形有限要素解析

名古屋大学大学院	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-会員	田邊 忠顕

1. はじめに

近年 Personal Computer (PC) の発達により、従来では解析が困難とされてきた大規模な解析が容易に可能になりつつある。それに伴い、構造物を細部に至るまで詳細に3次元でモデル化した解析や、都市全体の地盤と構造物をモデル化した数値振動台実験のような大規模な解析といった、自由度数が制限されることのない解析への要求が高まっている。しかしながら、PCには依然としてハード面の限界があるため、大規模な解析を行う際にはワークステーションやスーパーコンピュータを利用せざるを得ず、これらのハードを研究室レベルで使用することには多くの難点があり実用的ではない。そこで本研究では、並列計算により大規模な解析を実現可能とするために、PCをネットワークでつないだ並列計算環境を自主構築し、名古屋大学で開発された格子等価連続体化法 (LECM)¹⁾ による3次元RC非線形有限要素解析の並列環境への拡張を試みた。

2. 並列化手法

並列化の方法として、領域分割法²⁾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釣合と変位の連続性を満たすように収束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、PC1台あたりの使用メモリ、計算量および計算時間を減少させることが可能となる点である。また、領域ごとの解析はそれぞれ独立に、通常の有限要素解析と同様に行う事ができるので、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。解析の大きな流れは通常のRC構造の非線形有限要素解析と同様であるが、領域分割法を用いることで剛性方程式の作成、求解および内力計算などは並列に処理することが可能となる。また本研究では、領域間の境界での収束計算を共役勾配法 (Conjugate Gradient Method, CG法) を用いて行い²⁾、PC間のデータのやり取りには、通信ライブラリであるMPIを利用した³⁾。なお、本研究で用いた並列計算環境は、SCore型クラスタ環境である³⁾。

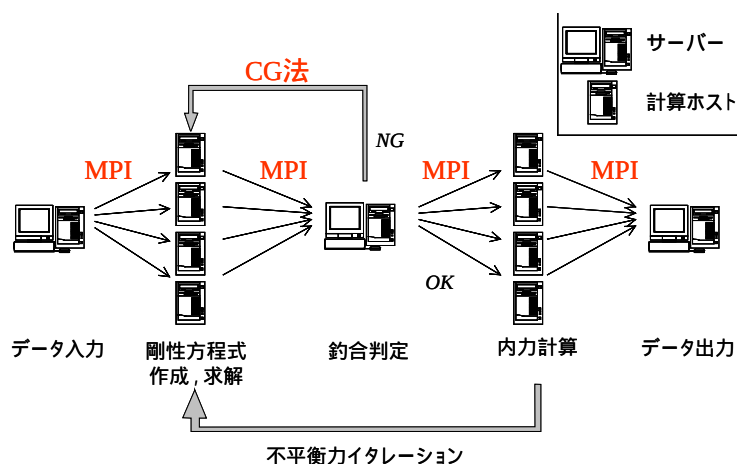


図-1 並列計算の流れ (1ステップ)

3. 並列計算の基本性能

立方体要素を用いて、柱の一軸引張の弾性解析を2台～6台の並列環境で行い、1台のPCで解析した場合の何倍の速さで解を得ることができるかを調べた。柱の要素分割は、断面を4,16,36要素の3通りに分割し、それぞれについて、軸方向に対して数通りの要素分割を行った。

図-2は断面内の要素数と並列台数が異なる場合の、1台のPCに対する速度倍率の結果を示したものである。この図から、台数を増やすことで速度倍率が向上し、解析時間が短縮できることが分かる。しかしながら、断面内の要素数が増加すると、解析性能の向上が得られにくいといった傾向も確認された。これは、領域間のキーワード 格子等価連続体化法、並列計算、領域分割法

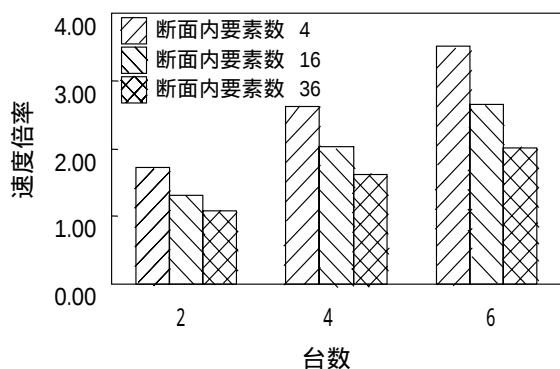


図-2 解析性能

境界の自由度数が増えることで CG 法の収束計算時の反復回数が増加するからである．今回，自由度数がおよそ 1 万～80 万の解析を行ったが，1 台の PC ではメモリの問題上 20 万自由度以上の解析を行うことが不可能であった．しかしながら，並列台数を増やすことで 2 台では 40 万自由度，4 台では 80 万自由度の解析が可能となった．

4．非線形有限要素解析への適用

本研究では並列計算により，ポストピーク領域においても信頼しうる解を得ることができるかどうかを，せん断破壊が生じる RC はりの解析を行うことで確認した．せん断破壊を対象としたのは，分割された領域間にまたがる変形が生じるため，領域間の境界での収束計算に，より困難が伴うと考えたためである．図-3 に示したせん断補強筋の無い RC はり（せん断スパン比 3.15，鉄筋比 1.67%， $f_c' = 24\text{MPa}$ ）を仮定して，図のように 4 つの領域に等分割し，4 台で並列計算を行った．

1 台の PC および並列環境で得られた載荷点における荷重 - 変位関係を図-4 に示す．両者の結果は多少の誤差は生じたものの，最大荷重以降のポストピーク領域に至るまで，ほぼ同様の結果を得られることが確認された．また，図-4 中の○印点におけるはりの変形図を図-5 に示す．変形に関しても同様の結果を得ることができ，両者ともに斜め引張破壊が生じたことが確認できた．

5．まとめ

領域分割法による並列計算は，従来不可能であった自由度数の解析が可能である．また，ポストピーク領域での解析にも適用が可能であり，格子等価連続体化法による大規模な 3 次元 RC 非線形有限要素解析の実現に明るい見通しを得た．

参考文献

- 1) 牧 真也，Ahmad Syed Ishtiaq，伊藤 睦，田邊 忠顕：格子等価連続体化法による三次元 RC 構成式の構築及びその適用例，土木学会第 57 回年次学術講演会，V-626，2002．
- 2) 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．
- 3) 石川 裕ら：Linux で並列処理をしよう，共立出版，2002．

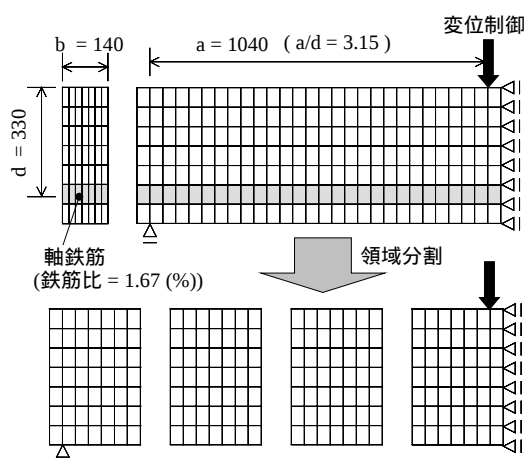


図-3 解析モデル(mm)

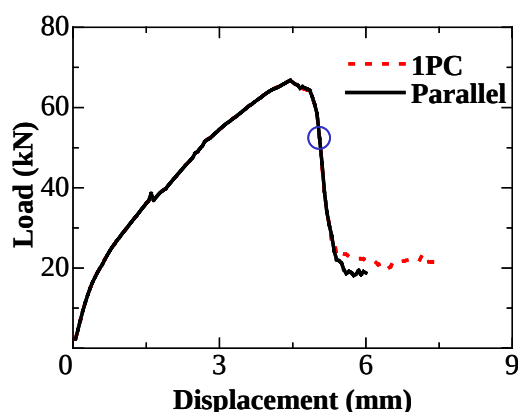


図-4 荷重 - 変位関係の比較

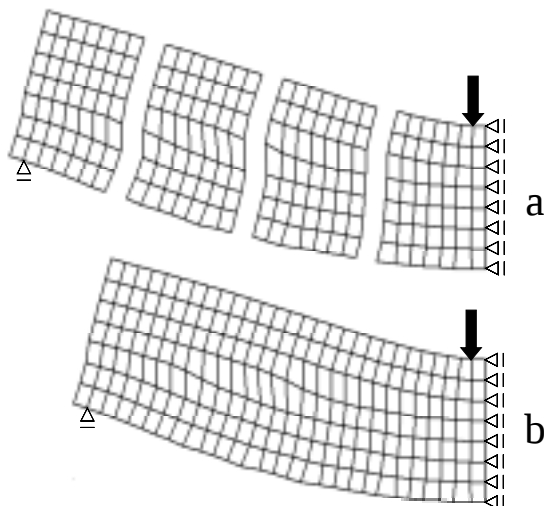


図-5 変形図 (a : Parallel , b : 1PC)