

破壊力学に基づく損傷モデルによる RC 部材の大規模破壊シミュレーションに関する基礎的検討

茨城大学大学院 学生会員 ○相馬 悠人
茨城大学 正会員 車谷 麻緒

1. はじめに

土木構造物の建設材料である鉄筋コンクリート(以下、RC)は、大小様々なひび割れが発生・進展する複雑な破壊挙動を示す。ひび割れが大きく進展すると、力学性能が低下し、土木構造物全体の崩壊に繋がるため、RC部材の破壊挙動を詳細に把握することは重要である。

数値シミュレーションによる研究では、RC部材の鉄筋を簡易的なはり要素でモデル化した例が多く、鉄筋表面の幾何形状に起因して発生・進展するひび割れ¹⁾まで考慮していない。RC部材の破壊挙動を3次元で忠実に再現するためには、鉄筋の詳細な幾何形状まで解析モデルに反映させる必要がある。

対して車谷らは、準脆性材料の破壊力学を考慮した損傷モデルを開発し、鉄筋の詳細な幾何形状まで解析モデルに反映させ、RC部材の破壊挙動を3次元で詳細に再現した²⁾。しかし、この方法は試験体レベルのRC部材には適用できるが、実構造物のような複雑な配筋を有するRC部材への適用には、解析モデルを作製するのに膨大な要素数が必要となるため、通常の方法で解析するのは計算コストが高く、現実的ではない。

そこで本研究では、解析プログラムに領域分割法に基づくプロセス並列化を適用し、大型並列計算を用いることで、RC部材の大規模破壊シミュレーションへの適用性を検討する。さらに、破壊モードの異なるRCはりを対象とし、メッシュサイズの依存性を検証する。

2. RC 部材の大規模破壊シミュレーション手法

2-1 並列処理

RC部材の破壊シミュレーション手法²⁾に領域分割法に基づくプロセス並列化を適用する。領域分割法とは、対象とする解析モデルを複数の領域に分割し、各分割領域を使用可能なコアに割り当てて計算する方法である。

並列処理の手順としては、まず、前処理として解析モデルの分割数を設定し、分割領域の割当、節点と要素番号の割当、境界条件の付け替えを行う。次に、各

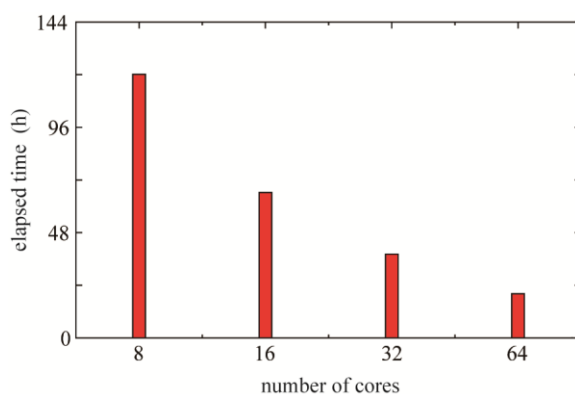


図-1 並列数と計算時間の関係

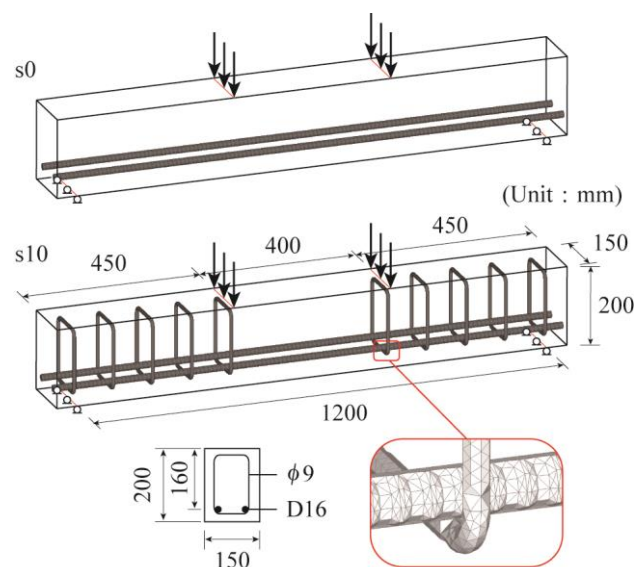


図-2 RC はりの解析モデル

分割領域を使用可能なコアに割り当て、分割領域間において必要な情報の送受信を行い、数値シミュレーションを実行する。最後に、後処理として各分割領域の解析結果を集約し、解析領域全体の結果を出力する。

2-2 適用性の検討

大型並列計算機を利用し、並列数を変えて計算時間を比較した。図-1 に並列数と計算時間の関係を示す。対象の解析モデルは、図-2 に示すせん断補強筋 10 本の RC はりであり、全体の要素数は約 300 万要素である。

キーワード 破壊シミュレーション, 損傷モデル, RC はり, 並列化, メッシュサイズ

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部 TEL. 0294-38-5151 FAX. 0294-38-5268

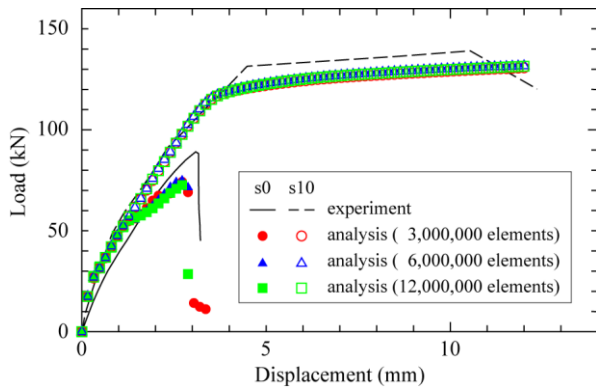


図-3 実験と解析の荷重変位関係

解析モデルの分割数は(8 分割 : $x2 \times y2 \times z2$), (16 分割 : $x4 \times y2 \times z2$), (32 分割 : $x8 \times y2 \times z2$), (64 分割 : $x16 \times y2 \times z2$)とした。並列数の増加に伴い、計算時間が少なくなり、大規模な解析モデルでも使用するコア数を増やすことで高速に解くことが可能であることが分かる。

3. メッシュサイズ依存性の検証

3-1 実験概要と解析条件

図-2 に試験体寸法を基に作製した RC はりの解析モデルを示す。メッシュサイズの依存性を検証するため、解析モデルの要素数を約 300, 600, 1200 万に設定した。鉄筋の材料パラメータは、 $E = 210 \text{ GPa}$, $\nu = 0.3$, $\sigma_{y0} = 400 \text{ MPa}$, $Q = 180 \text{ MPa}$, $b = 15$ である。コンクリートの材料パラメータは、 $E = 29 \text{ GPa}$, $\nu = 0.2$, $k = 20$, $G_f = 0.1 \text{ N/mm}$, $\kappa_0 = 0.0001$ である。

3-2 実験結果と解析結果の比較考察

図-3, 4 に実験と解析の荷重変位関係とひび割れ分布を示す。結果は、各破壊モードをメッシュサイズにほとんど依存せずに、実験結果を詳細に再現できている。

4. おわりに

本研究では、解析プログラムに領域分割法に基づくプロセス並列化を適用し、大型並列計算機を用いることで、RC 部材の大規模破壊シミュレーションへの適用性を検討した。その結果、並列数を増やすことで、大規模な解析モデルでも高速に解析できることを示した。さらに、異なる破壊モードの RC はりに対してメッシュサイズの依存性を検証した結果、メッシュサイズに依存せずに、実験結果を詳細に再現できることを示した。

謝辞： 本研究では、解析プログラムの並列化は京都大学のプログラム高度化支援事業を利用しました。また、大規模破壊シミュレーションには、京都大学の並列計算機を利用しました。ここに、深く謝意を表します。

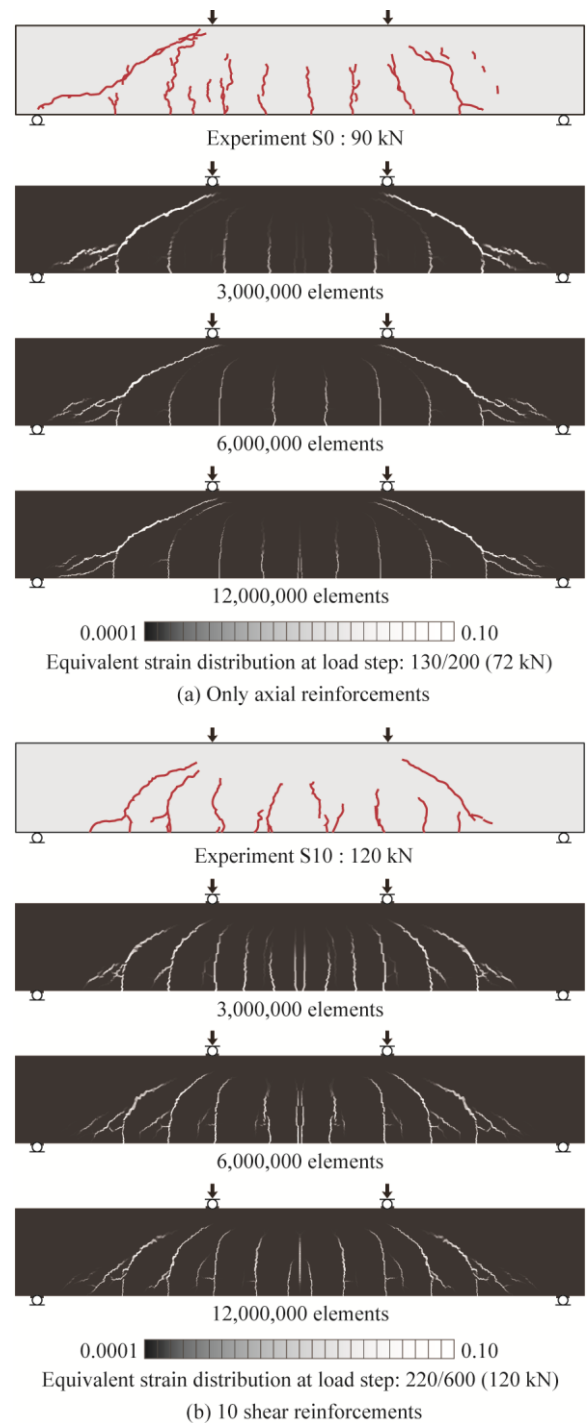


図-4 実験と解析のひび割れ分布

参考文献

- 1) 後藤幸正, 大塚浩司: 引張を受ける異形鉄筋周辺のコンクリートに発生するひびわれに関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第 284 号, pp.85-100, 1980.
- 2) 車谷麻緒, 根本優輝, 相馬悠人, 寺田賢二郎: コンクリートの破壊力学を考慮した鉄筋コンクリートの 3 次元破壊シミュレーションとその性能評価, 日本計算工学会論文集, Vol.2016, pp.20160004, 2016.