

ラチスモデルによる 鉄筋コンクリート構造のイメージベース解析

東北大学工学部 学生員 ○浅井 光輝
東北大学工学部 正会員 寺田 賢二郎
東北大学工学部 正会員 池田 清宏

1. はじめに

コンクリート材料は、材料固有の非均質性および(準)脆性的な破壊特性により、その構造全体の破壊現象は複雑となりそのメカニズムは不明瞭な点が多く残されている。さらに鉄筋コンクリート部材では、鉄筋とコンクリート間の付着現象まで考慮する必要がある、破壊現象までを数値解析により再現することは非常に困難な課題の一つとされている。

ここで本研究では、コンクリートのメゾレベル解析手法として確立されつつあるラチスモデル¹⁾を用い、鉄筋コンクリート梁のせん断破壊シミュレーションを行った。

2. メゾレベル解析手法

本研究では、コンクリート材料をモルタルと粗骨材から形成される2相材料と仮定し、実画像データをもとに解析モデルを作成した。このイメージベースモデリング手法により、材料非均質性を直接に数値解析に反映させることが可能となる。

(1) イメージベースモデリング

均質化法に関する研究分野の発展の際に開発されたイメージベースモデリング手法²⁾では、画像データの1画素をそのままFEMにおける1つの要素と置き換えることで解析モデルを生成する。この手法では、画像と同レベルの解析モデルが自動に生成でき、画像解像度の調節により解析者の望む計算精度あるいは計算コストを自由に設定することが特徴である。

このモデル化手法をラチスモデル解析に適用ため、図-1に示すような正方形の単位構造を使用し、この1ユニットを1画素に置き換えることにした。その作成手順を図-1に示す。

(2) 構成モデルと破壊基準

コンクリート材料は、一般的に引張り軟化特性を示す準脆性材料として考えられている。しかし、コンクリートの微視的領域では、ミクロ的なクラックの発生に伴いその領域での応力は解放され、更なるミクロクラックを誘発する。そして、このミクロクラックの連続として視覚的に観測されるマクロクラックは形成され、マクロクラックが構造全体の軟化挙動をあたえるものと考えられる。つまり、引張り軟化挙動は、供試体というある形を持つ構造のマクロ的な挙動であり、材料特性ではないものと思われる。

この考えに基づき、本解析手法ではモルタル要素は完全に脆性的なモデルをあたえ、引張り力に伴う破壊基準のみを設定した。また骨材要素はクラックが発生しないものと仮定し、単純に弾性モデルにより特徴付けられている。

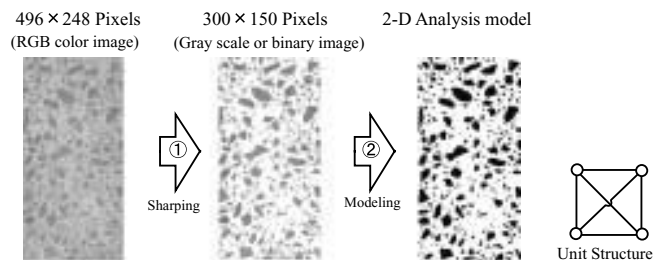


図-1 イメージベースモデリング

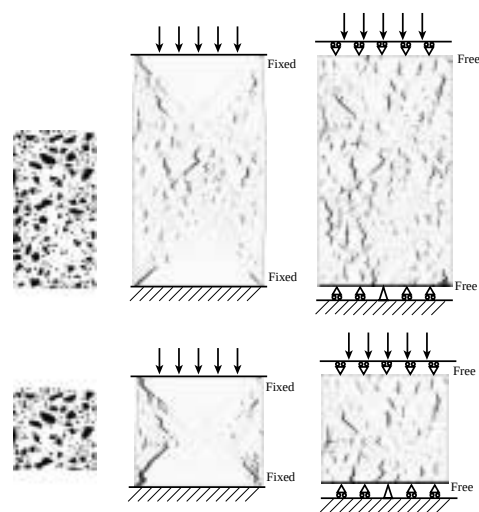


図-2 圧縮破壊シミュレーション

3. 予備解析

鉄筋コンクリート梁の解析を行う前の予備解析として、コンクリート材料特有の圧縮破壊を数値シミュレーションした。この解析の目的は、引張り力による微視的破壊基準のみにより、供試体で観測される巨視的圧縮破壊現象を再現可能であるのかを数値的に検証することにある。

(1) 解析結果と考察

供試体の圧縮破壊に対する影響因子である、寸法比と載荷面の摩擦の影響を本手法による解析を試みた。

この解析結果として、破壊時直前のクラックの発生状況を図-2に示す。これら解析結果は、van Mierらが示す実験による傾向³⁾と同様であり、定性的に圧縮破壊特性を表現できていると言える。また、一軸圧縮状態における割裂、せん断方向への巨視的クラックが、微視的な引張り破壊(トラス要素の破断)の連続として表現できた。また、こうした複雑な破壊現象は、材料非均質性により誘発されていることが、数値結果より推測できる。

Key Words: Lattice Model, Image-based Modeling, Meso-scope Numerical Analysis

〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 東北大学工学部 土木工学科, Phone: 022-217-7420, FAX: 022-217-7418

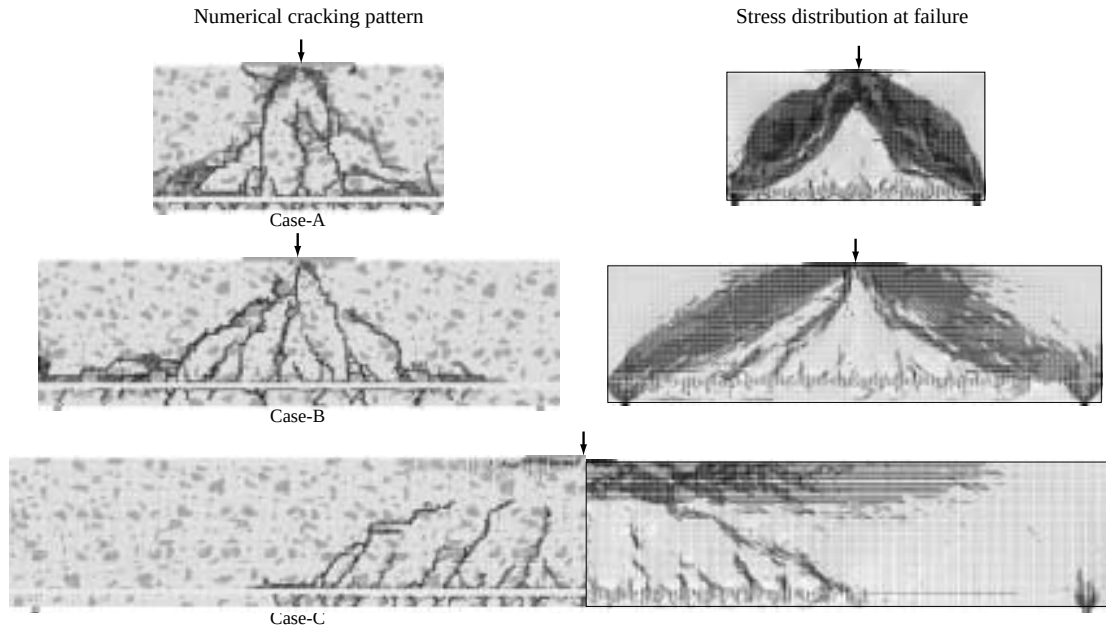


図-3 破壊時のクラック進展図と応力分布

4. RC 梁のせん断破壊シミュレーション

ラチスモデルによる鉄筋コンクリート構造解析のため、新たに鉄筋、付着要素を設定し、鉄筋とコンクリート間の付着特性のモデル化を試みた。ここで、鉄筋、付着要素の材料特性は、単純に等方硬化型の一次元弾塑性モデルにより近似した。またコンクリート材料については、先の圧縮試験の解析モデルと同様に、イメージベースモデリングにより非均質性を解析モデルに反映させている。

(1) 解析結果

せん断補強筋のない RC 梁においては、特にせん断スパン比 (a/d) がせん断破壊現象に影響を及ぼし、その破壊現象を複雑にすることが知られている。このため、 a/d のみとなる 3 つの梁を同様の境界条件の下で解析し、RC 梁の破壊特性を再現可能であるのかを検証した。

その解析結果として、図-3 には破壊時のクラック発生状況をその時の応力分布と併に示し、図-4 には、荷重変位関係図を示す。ここで、Method of Inelastic Force (MIF)⁴⁾ と弧長法をアレンジした非線形解法により、図-4 で示すかなり起伏の激しい曲線が求められている。

解析結果から、 a/d の値が小さくなるにつれ、RC 梁の耐力機構として知られるアーチ作用が顕著に観測されるようになり、それと伴に最終耐力値が増加するという実験結果と同様の傾向が見られる。特に、クラック進展の分布の解析結果は、実験結果と比較しても遜色のないほど現実的な結果が得られている。この時のせん断方向のクラックの発生も、先ほどの圧縮破壊時のせん断方向へのクラックの発生と同様に、微視的な引張り力に伴うマイクロクラックの連続として再現されている。

以上の解析結果より、材料の非均質性を正確に捉えるのと同時に、微視的破壊特性を反映したメゾレベル解析手法を用いれば、複雑な破壊現象が自然と再現できるものと考えられる。

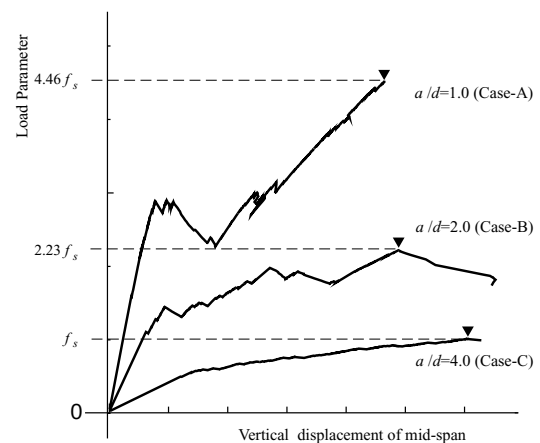


図-4 荷重変位関係図

5. おわりに

本研究ではラチスモデルを使用し、材料の非均質性を反映し得るメゾレベル解析手法を開発した。本手法では、単純な構成モデルおよび操作によりミクロ的な損傷、不連続性などモデル化しているのにも関わらず、鉄筋コンクリート梁のせん断破壊を現実的に再現することができた。

そして解析結果から、メゾレベルの非均質性が複雑な破壊現象に大きく影響を与えることを確認し、こうしたメゾレベルの視点に基づく解析手法が未解決な破壊メカニズムの解明などに大きく貢献できるものと考えられる。

参考文献

- 1) Bazant, Z. P., Tabbara, M. R. : Random particle model for fracture of aggregate or fiber composites, *J. Engrg. Mech.*, ASCE, No.116, (8), pp. 1686-1705, 1990.
- 2) Terada, K., Miura, T. and Kikuchi, N. : Digital image-based modeling applied to the homogenization analysis of composite materials, *Computational Mechanics*, No. 20, pp. 331-346, 1997.
- 3) van Mier, J. G. M. : Failure of concrete under uniaxial compression: an overview, *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, Proceedings of FRAMCOS-3, pp. 1169-1182, 1998.
- 4) Jirasek, M., and Bazant, Z. P. : Macroscopic fracture characteristic of random particle systems, *Int. J. Frac.*, No. 69, pp. 201-228, 1995.