

コンクリート材料のひび割れ進展解析

海外青年協力隊

広島大学

三井共同建設コンサルタント

広島大学

正会員

正会員

正会員

正会員

岩本 博吉

有尾 一郎

陶山 裕之

藤井 堅

1. はじめに

材料のせん断帯(すべり線)形成のメカニズムが明らかにされつつある。例えば、Rudnicki・Rice(1975)は変形の局所化に関する分岐の一般条件を、Hill・Hutchinson(1975)は均質な平面引張状態からの弾塑性分岐を示した。また、Vermeer(1984)は滑り線の生成を検知できる compliance model を開発し、Prevost(1984)は局所化の有限要素シミュレーションを行った。

近年、コンクリート材料に対する非線形解析法も急速に整備されてきており、Cosserat 理論などの非局所連続体力学による巨視的破壊手法、あるいは永井らの3次元イメージベース FEM によるメゾレベル解析法など様々な解析法が提案されている現状にある。最近では、土やコンクリートなどの不均質な材料に対して、微視的な材料特性と巨視的挙動とを関連させる Global-Local 解析法や寺井による微視破壊要素に基づくコンクリート構成モデルの開発などの解析も盛んに行われている。

土やコンクリートなどの(複合)材料は、一般に不均質な土粒子や骨材などの組成からなり、これらの材料の不均質性を考慮したクラックの発生・進展を数値的に解析することは工学的に重要である。これを可能にする解析方法として、材料を等価なトラスや梁などの線部材に置換し、部材の配置により不均質性を表現し、部材の破断としてクラックを再現するラチスモデルが提案されている¹⁾。このラチスモデルは、局所的な材料損傷のモデル表現に優れ、複雑な材料構成則を用いることなく材料の破壊を再現できる利点がある。

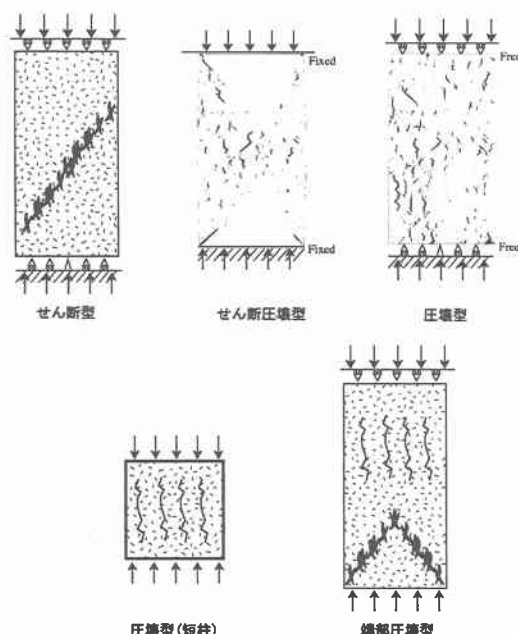


図-1 様々な圧縮破壊現象

2. コンクリート材料の微視的破壊解析の目的

最近の研究では、Bazant and Xiang²⁾は、図-1に示されるような、準脆性材料(コンクリート材料、土粒子)の圧縮破壊現象において、内部的な分岐座屈が起こっていることを指摘している。また、北川・有尾らは同様のラチスモデルによる材料のせん断破壊シミュレーションにおいて、準脆性材料の均質・不均質性、初期不整等の違いを考慮した巨視的なせん断帯の破壊表現を、複雑な構成則を用いることなく解析を行っている。

コンクリート材料の破壊解析の対象に関して、原子・分子、転位、副結晶粒、すべり帯、結晶粒、介在物、空洞、連続体としての他結晶性集合体など、階層的にオーダーの異なる多くの因子を同時に考慮する必要がある。ただし、コンクリートの破壊数値解析では、巨視レベル、中間レベ

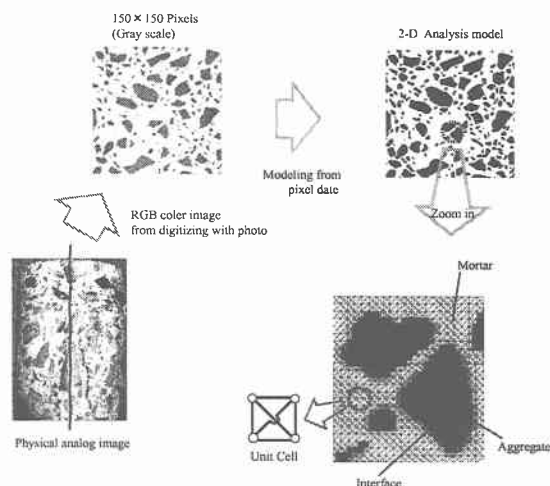


図-2 イメージベースモデリング法によるラチストラスへのモデル化過程

ル、微小レベルと区別した場合、そのレベルに応じた合理性の高い力学的アプローチを採用する必要がある。一般的に、ひび割れを有する破壊数値解析では、ミクロレベルでの損傷を考慮した解析を行うほど精度が向上する。複合材料を対象とした数値解析において、微視的なマイクロクラックの発生や空隙の接触を考慮することにより、構造物全体の非線形挙動を説明できる可能性も指摘されてきている。このことから、コンクリート材料の破壊メカニズム解明には、ミクロな視点に基づく大規模非線形 FEM 解析が必要であると考えられる。

3. イメージベース・モデリング法

本研究では、図-2に示すように、実際の材料のデジタル画像(写真等)を、解像度・サイズを調節し、色の識別等により個々の材料特性をミクロな各トラス部材に、等価に置き換えるイメージベース・モデリング法を採用する。

4. 解析結果

図-3に示す RC 梁をラチストラスを用いてひび割れ解析を行った。材料構成は同図の通りであり、各ステップのひび割れ進展状況は図-4のようになった。このモデルを実際の曲げ実験を行い、終局時のひび割れ図を図-5に示す。終局時のクラック進展結果は図-6となった。

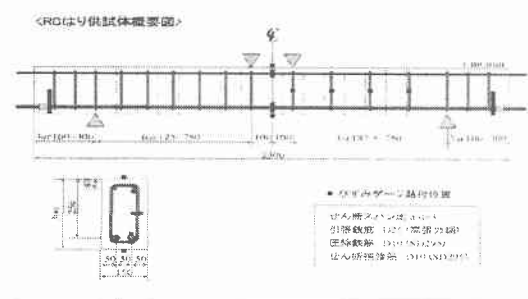


図-3 RC 梁



図-4 各ステップのひび割れ進展状況

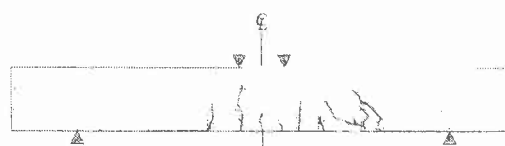


図-5 実験によるコンクリートのひび割れ状況

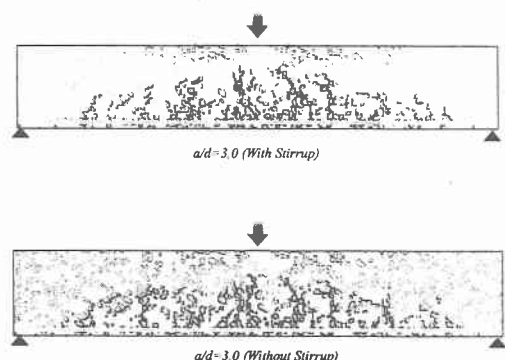


図-6 スターラップ有無による終局時のひび割れ数値結果 ($K_c=2$ GPa)

謝辞：本研究をまとめるにあたり、東北大学池田清宏・浅井光輝氏にご協力・ご尽力を戴いた。

参考文献

- 1) Bazant, Z.P., Tabbara, M.R., Kazami, M.T. and Cobat, G.R. : Random Particle Model for Fracture of Aggregate or Fiber Composites, *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, 116(8), pp.1686-1705, 1990.
- 2) Bazant, Z.P., Xiang, Y. and Prat, P.C. : Microplane Model for Concrete *symbol*"1, *symbol*"2, *J.Engng.Mech.*, ASCE, pp.245-262, 1996.3.