

ラチスモデルによる鉄筋コンクリート解析

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

鉄筋コンクリートに関する数値解析は、載荷点における荷重変位の関係を一致させることに固執した研究例が多く、破壊状態におけるひび割れ発生状況まで一致させた例は見当たらない。この理由としては、計算コストを軽減させるために巨視的連続体解析手法(例えば¹⁾)が盛んに行われてきたため、微視的なひび割れの存在、ひび割れ発生に伴う変位、またはひずみの不連続性を軽視していることに問題があると考え、そこで本研究では、メゾレベルの損傷および変位・ひずみの不連続性を考慮した解析例を示すため、ラチスモデルによる鉄筋コンクリートの数値解析を行なった。

2. ラチスモデルによるコンクリート 構造のモデル化

ラチスモデルとは、コンクリート材料を微視的な領域で観測したとき粗骨材間に応力が集中することから、その領域をトラスや梁により離散化し近似的な解析を行なうモデル化手法である。このラチスモデルによる解析手法は、個別要素法のコンクリート材料への拡張としてBazantらにより提案された²⁾。本研究では、より基本的であるトラス要素によるラチスモデルを採用し、鉄筋コンクリートの解析手法として用いることにした。その際、鉄筋コンクリート材料をコンクリート要素・鉄筋要素・付着要素に分類し、個々の材料特性を捉えた構成関係の再設定を試みた。

(1) 構成関係

a) コンクリート

従来、巨視的なレベルにおけるコンクリートの構成関係は、ひずみ軟化の弾塑性構成関係が適していると考えられている。それに対し本研究では、メゾレベルでのコンクリートの構成関係として図-1に示すように脆性的な関係を用い、トラス部材の破断によりひび割れを表現することにした。また、コンクリートが粗骨材とモルタルからなる2相材料である特徴は考慮しないものとし、コンクリート材料はこの1つの要素により表すものとした。

b) 鉄筋および付着要素

鉄筋要素および付着要素に対する一軸の構成関係は、一次元等方硬化則に従うものと仮定した。

(2) 解析手法

非線形つりあい経路の軌道追跡法として弧長法制御法を用いた。このとき、弾塑性トラスにおける応力積分法は後退型オイラー差分に基づくリターンマッピングアルゴリズム³⁾を使用し、コンクリート要素に対する強非線形対策としてはMIF(Method of Inelastic Force⁴⁾)を使用した。(このMIFによる解析の概念を図-2に示す。) また、ひび割れ発生に伴うエネルギーの散逸を考慮するため、損傷エネルギーを解析に導入した。

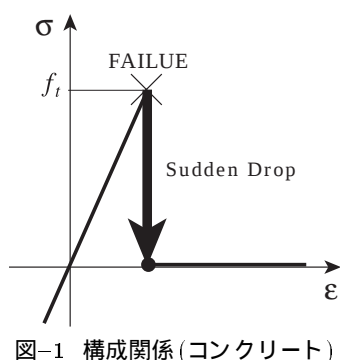


図-1 構成関係(コンクリート)

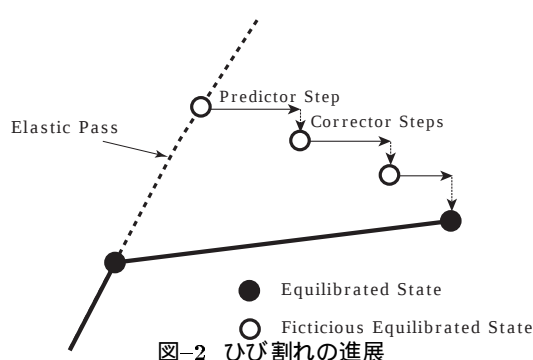


図-2 ひび割れの進展

Key Words: Lattice Model, Numerical Concrete Model, Shear Fracture

〒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

3. 解析例

鉄筋コンクリート梁の一点荷重試験の解析モデルを、図-3 に示すように規則的なラチス構造により作成した。コンクリート要素の弾性定数 E_c を 30MPa，鉄筋要素の弾性定数 E_s を 200MPa とし，ひび割れ発生ひずみ，鉄筋の降伏ひずみはそれぞれ (0.01%, 0.2%) と設定した。せん断スパン比 ($a/d = 4$) の解析結果として，図-4には梁の上部中央の変位と荷重の関係を実験結果と伴に示し，図-5にはひび割れの進展状況を示す。このとき，鉄筋コンクリート梁のせん断破壊挙動の変動因子と考えられる鉄筋比，かぶりなどの条件までを解析に反映させることはできていないが，ひび割れの発生状況やひび割れの発生に伴う荷重レベルの低下などのせん断破壊の特徴を的確に表現できていることが確認できる。

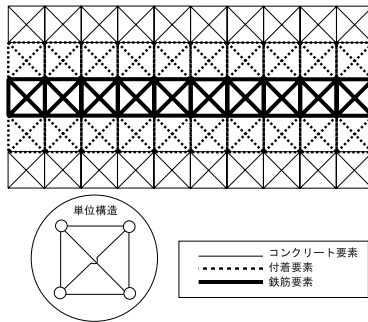


図-3 ラチス構造

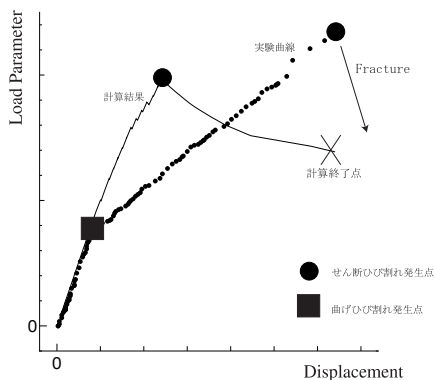


図-4 荷重変位曲線の比較



図-5 ひび割れの進展状況

4. おわりに

コンクリート構造に対する数値計算手法が多数存在するなかで，本研究ではメゾレベル解析手法に属するラチスモデルを用いた。この解析での特徴を次に示す。

1. 規則的に配置したトラス構造により連続体領域を近似した。
2. コンクリート材料におけるメゾレベルの構成関係は引張り領域のみ脆性的な関係を用い，トラス部材の破断によりひび割れを表現した。
3. ひび割れに伴う損傷エネルギーを解放力の低減により表すことにした。

以上に示すように，単純な構成モデルおよび操作によりミクロ的な損傷，不連続性などコンクリート本来の特徴を簡略化し数値解析に反映するだけで，複雑とされる鉄筋コンクリート梁のせん断破壊まで再現することができた。今後の課題としては，鉄筋比などより詳細な条件まで考慮した解析，トラスの構成関係とマクロの構成関係の関連の調査などが望まれる。

参考文献

- 1) Bazant, Z. P., Oh, B. H. : Crack band theory for fracture of concrete, *Materiaux et Constructions*, Vol.16, No.93, pp. 155-177, 1983.
- 2) 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.
- 3) Simo, J. C., and Hughes, T. J. R. : *Computational Inelasticity*, Springer-Verlag New York, Inc. 1998.
- 4) Jirasek, M., and Bazant, Z. P. : Macroscopic fracture characteristic of random particle systems, *Int. J. Frac.*, No. 69, pp. 201-228, 1995.